This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

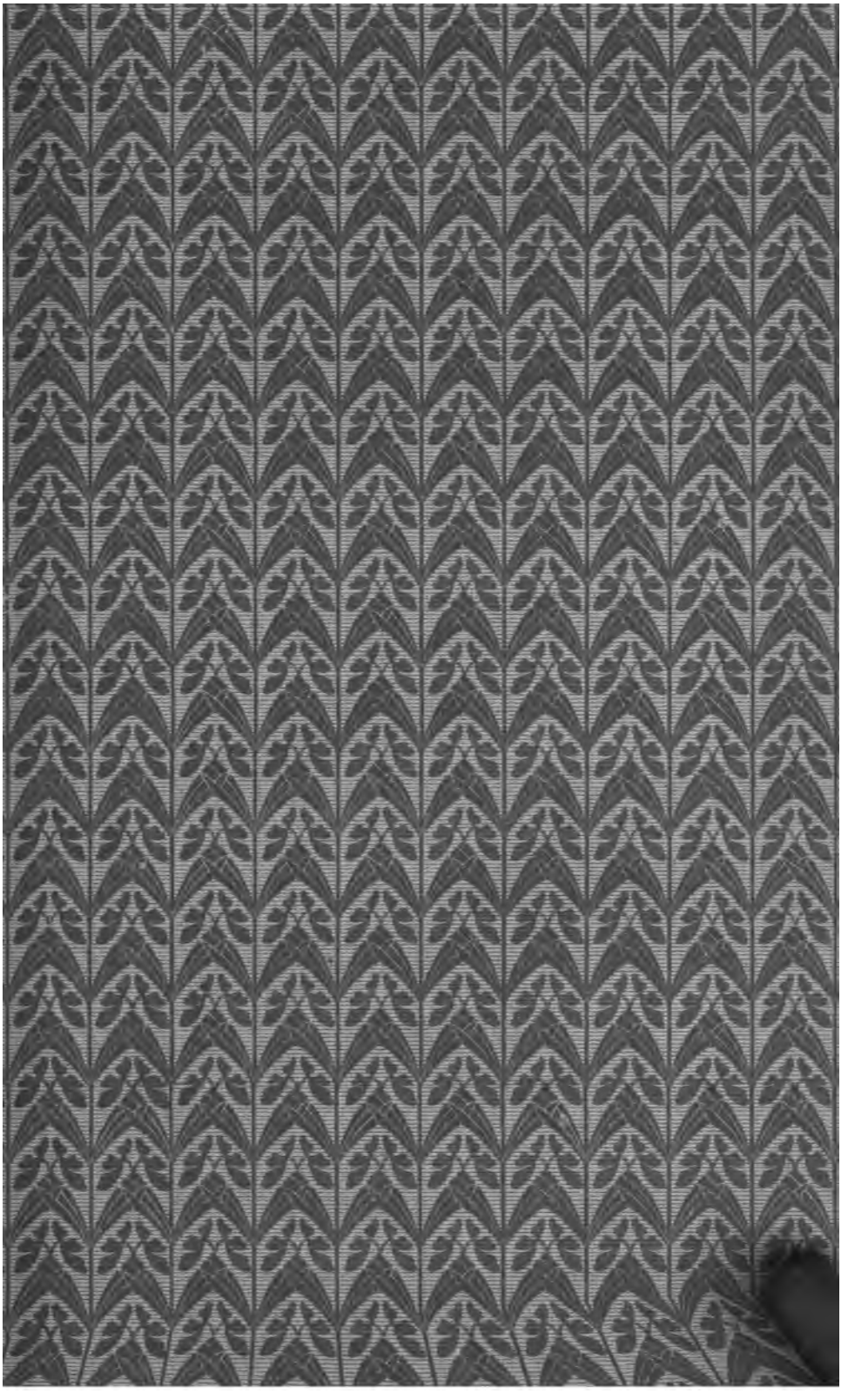
Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

LANE MEDICAL LIBRARY STANFORD
2 45 0380 9082

LANE

MEDICAL LIBRARY

Gift



Photogravure Meisenbach Riffarth & Co., Berlin

H. Helmholtz

[illegible]

HEL[illegible]

VIERTE AUFLAGE

ZWEITER BAND

[illegible]

BRAUNSCHWEIG
[illegible] VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN
1896

H. Helmholtz

VORTRÄGE UND REDEN

VON

HERMANN VON HELMHOLTZ

VIERTE AUFLAGE

ERSTER BAND

MIT DEM BILDNISS DES VERFASSERS UND 51 HOLZSTICHEN

LANE LIBRARY

BRAUNSCHWEIG
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN
1896

Alle Rechte vorbehalten

YALE LIBRARY

447
v. 1
896

VORREDE ZUR ERSTEN AUFLAGE

1865

Mannigfachen Anfragen Folge leistend, erlaube ich mir hier den Anfang einer Reihe von populären Vorlesungen, die ich bei verschiedenen Gelegenheiten gehalten habe, dem Publicum vorzulegen. Sie sind für Leser berechnet, welche, ohne selbst sich fachmässig mit naturwissenschaftlichen Studien zu beschäftigen, doch für die wissenschaftlichen Resultate dieser Studien interessirt sind. Der Schwierigkeit, welche sich bei gedruckten naturwissenschaftlichen Vorlesungen so sehr geltend macht, dass nämlich der Leser nicht, wie der Zuhörer, die angestellten Versuche selbst sehen und hören kann, ist von Seiten des Verlegers mit anerkennenswerther Bereitwilligkeit durch möglichst zahlreiche Abbildungen nachgeholfen worden.

Diese Vorlesungen, wie sie durch zufällige Veranlassungen hervorgerufen waren, sind natürlich nicht nach einem streng durchgreifenden Plane gearbeitet, auch musste jede einzelne vollkommen unabhängig von den anderen gehalten werden; daher waren Wiederholungen nicht ganz zu vermeiden, auch mögen die Vorträge des ersten Heftes bunt genug zusammengewürfelt erscheinen.

114989

MAY 25 1949

Wenn ich von einem gemeinsamen Grundgedanken derselben reden darf, so war es der, dass ich das Wesen und die Tragweite der Naturgesetze und ihre Beziehungen zu den geistigen Thätigkeiten des Menschen anschaulich zu machen suchte, was mir immer als das Hauptinteresse und Hauptbedürfniss bei Vorlesungen vor einem überwiegend literarisch gebildeten Publicum erschienen ist.

Einstweilen mögen diese wenigen, welche ich darbieten kann, von ihren Lesern mit derjenigen Nachsicht aufgenommen werden, deren Vorträge immer bedürfen, wenn sie nicht in mündlichem Vortrage gehört, sondern im Druck gelesen werden.

VORREDE ZUM ERSTEN BANDE

DER DRITTEN AUFLAGE 1884

Da wiederum eine neue Auflage der von mir früher in drei Heften herausgegebenen „Populären wissenschaftlichen Vorträge“ nöthig wurde, habe ich im Einverständniss mit dem Herrn Verleger diese Gelegenheit benutzt, um die Sammlung zu vervollständigen, was aber auch eine Veränderung ihres Titels nöthig machte. „Populär“ waren schon einige von den Vorträgen der früheren Sammlung kaum noch zu nennen, wenn auch ihnen allen, wie den neu hinzugekommenen, gemeinsam bleibt, dass sie Versuche sind, die Ergebnisse mathematischer, naturwissenschaftlicher oder speciell physikalischer Forschung einem Kreise von Zuhörern und Lesern mitzutheilen, deren Studien nicht gerade in dieser besonderen Richtung gelegen haben. Dadurch sind sie von den eigentlich wissenschaftlichen Abhandlungen geschieden, die bei dem Leser volle Kenntniss aller bisher gewonnenen Ergebnisse der betreffenden Zweige der Wissenschaft und ihrer Methoden voraussetzen.

Die vervollständigte Sammlung enthält also nicht nur alle die Aufsätze, die in den früher veröffentlichten drei Heften „Populärer wissenschaftlicher Vorträge“ enthalten waren, nebst einigen anderen gelegentlichen Vorträgen naturwissenschaftlichen Inhalts, sondern auch eine Reihe akademischer Reden, die einzeln veröffentlicht waren, und auch Vorreden, die ich für die deutschen Uebersetzungen von Werken englischer Autoren, William Thomson und P. G. Tait, sowie John Tyndall geschrieben hatte, weil dieselben Erörterungen über erkenntnisstheoretische Fragen und über Popularisirung der Wissenschaft enthalten, die durch ihren Inhalt mit anderen Aufsätzen dieser Sammlung in Verbindung stehen.

Da diese Aufsätze kein systematisches Ganze bilden, habe ich vorgezogen, sie chronologisch zu ordnen. Es schien mir dies auch aus dem Grunde wünschenswerth, weil dreissig Jahre wissenschaftlicher Arbeit doch ihre Spuren in den Ueberzeugungen und Urtheilen eines Menschen zurücklassen. Ich habe nicht Veranlassung gefunden, Einiges, was ich in älteren Aufsätzen gesagt hatte, zu streichen, aber ich würde Manches jetzt anders ausdrücken, wenn ich es wieder zu sagen hätte. Ich war im Beginne meiner Laufbahn ein gläubigerer Kantianer als ich jetzt bin; oder vielmehr, ich glaubte damals, dass das, was ich bei Kant geändert zu sehen wünschte, unerhebliche Nebenpunkte wären, welche neben dem, was ich noch jetzt als seine Hauptleistung hochschätze, nicht in Betracht kämen, bis ich später gefunden habe, dass sich die stricten Kantianer der jetzigen Periode hauptsächlich

da festheften und da die höchste Entwickelung des Philosophen sehen, wo Kant meines Erachtens die ungenügenden Vorkenntnisse seiner Zeit und namentlich ihre metaphysischen Vorurtheile nicht ganz überwunden und das Ziel, welches er sich gesteckt hatte, nicht ganz erreicht hat.

Die chronologische Ordnung ist allerdings bei den letzten Aufsätzen beider Bände durchbrochen, weil ich mich erst spät, als der Druck des Ganzen sich schon seiner Vollendung näherte, entschlossen habe, sie aufzunehmen. Der Inhalt des kleinen Aufsatzes am Schlusse des ersten Bandes, einer Rede zum Besten von Kant's Denkmal in Königsberg i. Pr., ist in den späteren Aufsätzen über das Sehen allerdings ausführlicher und mit weiter fortgeschrittener Kenntniss der Thatsachen behandelt; aber Freunde fanden, dass er in der alten kurzen Form einfacher und leichter fasslich heraustrete. Das „Kritische" am Ende des zweiten Bandes sind nicht eigentlich Vorträge, sondern, wie schon erwähnt, Vorreden, deren Inhalt indessen sich den Vorträgen erkenntnisstheoretischen Inhalts anschliesst.

Betreffs der einzelnen Aufsätze ist Folgendes zu bemerken:

Ueber Goethe's naturwissenschaftliche Arbeiten, ein Vortrag, 1853 gehalten in der deutschen Gesellschaft in Königsberg, wurde zuerst veröffentlicht in der „Kieler Monatsschrift", Mai 1853; dann in den „Populären wissenschaftlichen Vorträgen", Heft I.

Ueber die Wechselwirkung der Naturkräfte, Vortrag, gehalten am 7. Februar 1854 in der

physikalisch-ökonomischen Gesellschaft zu Königsberg; veröffentlicht im gleichen Jahre im Verlage der Hartung'schen Buchhandlung zu Königsberg, später aufgenommen in die „Populären wissenschaftlichen Vorträge", Heft II, 1872. Dort ist in der Vorrede über diesen Aufsatz gesagt: „Dieser schon vor sechzehn Jahren „einmal veröffentlichte Aufsatz konnte in seinem Wieder„abdruck nicht ganz unverändert bleiben. Doch habe „ich möglichst wenig geändert. Nur da, wo bestimmt „erwiesene neue Erfahrungsthatsachen inzwischen hinzu„gekommen waren, um die aufgestellten Ansichten „theils zu bestätigen, theils zu modificiren, habe ich „Aenderungen vorgenommen". Jetzt ist neu hinzugefügt ein Anhang über Robert Mayer's Priorität bezüglich der Aequivalenz von Wärme und Arbeit. Die im zweiten Anhange gegebenen Berechnungen sind revidirt mit Anwendung der neueren astronomischen Daten und unter Beseitigung eines Rechnungsfehlers von nicht erheblichem Gewicht.

Ueber die physiologischen Ursachen der musikalischen Harmonie, zuerst veröffentlicht in den „Populären wissenschaftlichen Vorträgen", Heft I, 1865.

Ueber das Verhältniss der Naturwissenschaften zur Gesammtheit der Wissenschaften. Rectoratsrede, zuerst veröffentlicht 1862 als Universitätsprogramm; dann in den „Populären wissenschaftlichen Vorträgen", Heft I.

Ueber die Erhaltung der Kraft, Einleitungsvorlesung zu einem Cyclus von Vorlesungen, die ich im Winter 1862 auf 1863 in Karlsruhe deutsch gehalten

und später auf Einladung der Royal Institution in London im April 1864 in englischer Sprache wiederholt habe. Vollständig ausgearbeitet sind davon nur die vorliegende und die Vorlesung „Ueber die Entstehung des Planetensystems". (Populäre wissenschaftliche Vorträge, Heft II und III.) Auszüge der englischen Vorlesungen sind veröffentlicht in der Medical Times and Gazette, London, April 1864. Die Vorrede des Heftes II der „Populären wissenschaftlichen Vorträge" sagt darüber: „Diese Vorlesung führt einen Theil vom Inhalte der zweiten dieses Heftes weiter aus. Ihr Zweck ist es hauptsächlich, die physikalischen Grundbegriffe der Arbeit und ihrer Unveränderlichkeit möglichst klar zu machen. Die Anwendungen und Consequenzen des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft sind verhältnissmässig leichter zu fassen, und sind in neuerer Zeit von mehreren Seiten so anschaulich und interessant dargestellt worden, dass für eine Ausarbeitung des betreffenden Theils meines darüber gehaltenen Cyclus von Vorlesungen mir zur Zeit kein Bedürfniss vorhanden zu sein schien, um so mehr, als vielleicht einige der wichtigeren darin zu besprechenden Gegenstände in naher Zukunft einer viel bestimmteren Darlegung fähig sein werden, als es im Augenblicke der Fall ist".

„Dagegen habe ich bisher immer noch gefunden, dass die Grundbegriffe dieses Gebietes denjenigen Personen, welche nicht durch die Schule der mathematischen Mechanik gegangen sind, bei allem Eifer, aller Intelligenz, und selbst bei ziemlich hohem Maasse

naturwissenschaftlicher Kenntnisse sehr schwer fasslich erscheinen. Auch ist nicht zu verkennen, dass es Abstracta von ganz eigenthümlicher Art sind. Ist ihr Verständniss doch selbst einem Geiste wie Kant nicht ohne Schwierigkeiten aufgegangen, wie seine darüber gegen Leibnitz geführte Polemik beweist. Ich hielt es deshalb wohl für der Mühe werth, in populärer Form eine Erläuterung der genannten Grundbegriffe an mannigfachen bekannteren mechanischen und physikalischen Beispielen zu geben, und habe deshalb zunächst nur die dieser Aufgabe nachstrebende erste Vorlesung aus jenem Cyclus gegeben."

Eis und Gletscher, zuerst veröffentlicht in den „Populären wissenschaftlichen Vorträgen", Heft I.

Die neueren Fortschritte in der Theorie des Sehens, zuerst veröffentlicht als weitere Ausführung von Vorträgen in den „Preussischen Jahrbüchern", Jahrgang 1868. Sie haben deshalb mehr die Form von Revue-Artikeln erhalten. Da bei dem späteren Abdrucke in den „Populären wissenschaftlichen Vorträgen" Heft II, die Möglichkeit gegeben war, manche Verhältnisse durch Abbildungen viel deutlicher zu machen, als es ohne solche geschehen konnte, habe ich eine Anzahl von Holzschnitten einfügen lassen und die nöthigen Erläuterungen derselben in den Text aufgenommen. Einige andere kleine Aenderungen des Textes sind durch Berücksichtigung der Ergebnisse neuerer Versuchsreihen veranlasst worden.

Ueber das Ziel und die Fortschritte der Naturwissenschaft. Eröffnungsrede für die Natur-

forscherversammlung in Innsbruck, 1869. Diese war zuerst nur in einem kurzen und durch Druckfehler entstellten Auszuge in dem Tagesblatte der genannten Versammlung veröffentlicht worden. Ich hatte sie nicht nach einem ausgearbeiteten Manuscript, sondern nur nach einer kurzen schriftlichen Disposition gehalten und fast ein Jahr später für die „Populären wissenschaftlichen Vorträge", Heft II, niedergeschrieben. Die vorliegende Ausarbeitung macht also keinen Anspruch, eine wortgetreue Wiedergabe jener Rede zu sein. Ich habe sie im Gegentheil der Sammlung der Vorträge angepasst, indem ich in ihrer Ausarbeitung kurz behandelt habe, was in anderen Aufsätzen der Sammlung ausführlicher besprochen ist.

Ueber das Sehen des Menschen, die schon oben erwähnte zum Besten von Kant's Denkmal in Königsberg gehaltene Rede, bisher nur erschienen als Broschüre im Verlage von L. Voss in Leipzig, 1855.

VORREDE ZUR VIERTEN AUFLAGE

Hermann von Helmholtz hat diese vierte Auflage seiner Vorträge und Reden nicht selbst mehr zu überwachen vermocht. Wenige Tage vor seinem Hinscheiden, schon im Gefühle der schwindenden Kraft, übertrug er mir die Durchsicht des Textes, nur mit wenigen Worten andeutend, in welcher Weise diese erfolgen sollte. Zaghaft und traurig übernahm ich die Aufgabe. Seinen Bestimmungen gemäss habe ich nur unwesentliche Kürzungen an einigen von ihm bezeichneten Stellen vorgenommen; jede sonstige Aenderung habe ich vermieden.

Die Anordnung der einzelnen Vorträge und Reden ist nunmehr streng chronologisch erfolgt. Nur die „Lebenserinnerungen", eine bei Gelegenheit seines 70. Geburtstages gehaltene Ansprache an die Festgenossen jener Feier, die ein Bild seiner geistigen Entwickelung giebt, schien geeignet, an den Anfang der ganzen Sammlung gestellt zu werden.

Dem zweiten Bande sind vier seit dem Erscheinen der dritten Auflage entstandene Reden hinzugefügt worden.

Das „Kritische und Polemische“ — dem Zeitlichen entsprungen und mit dem Zeitlichen vergangen — ist als Anhang an den Schluss jedes Bandes verlegt worden.

Berlin, im März 1896

Anna von Helmholtz

INHALT DES ERSTEN BANDES

Seite

Erinnerungen (1891) 1
Ueber Goethe's naturwissenschaftliche Arbeiten (1853) 23
Nachschrift (1875) 46
Ueber die Wechselwirkung der Naturkräfte und die darauf bezüglichen neuesten Ermittelungen der Physik (1854) 48
Ueber das Sehen des Menschen (1855) 85
Ueber die physiologischen Ursachen der musikalischen Harmonie (1857) 119
Ueber das Verhältniss der Naturwissenschaften zur Gesammtheit der Wissenschaften. Akademische Festrede (1862) 157
Ueber die Erhaltung der Kraft (1862/63) 187
Eis und Gletscher (1865) 231
Die neueren Fortschritte in der Theorie des Sehens (1868) 265
I. Der optische Apparat des Auges 270
II. Die Gesichtsempfindungen 295
III. Die Gesichtswahrnehmungen 329
Ueber das Ziel und die Fortschritte der Naturwissenschaft. Eröffnungsrede für die Naturforscherversammlung zu Innsbruck (1869) . . . 367

Anhang:

zu dem Vortrag „Ueber die Wechselwirkung der Naturkräfte und die darauf bezüglichen neuesten Ermittelungen der Physik“ . . . 401
Robert Mayer's Priorität 401
Berechnungen 415
Zusätze zu dem Vortrag „Eis und Gletscher“ 418

Erinnerungen

Tischrede gehalten bei der Feier des 70. Geburtstages
Berlin 1891

Ich bin im Laufe des vergangenen Jahres, und zuletzt bei der Feier und Nachfeier meines siebzigsten Geburtstages, mit Ehren, mit Beweisen der Achtung und des Wohlwollens in nie erwartetem Maasse überschüttet worden. Seine Majestät der Kaiser hat mich in die oberste Rangklasse seiner Staatsbeamten erhoben. Die Könige von Schweden und Italien, der Grossherzog von Baden, mein ehemaliger Landesherr, der Präsident der Französischen Republik haben meine Brust mit Grosskreuzen geschmückt. Viele Akademien, nicht bloss der Wissenschaften, sondern auch der Künste, Facultäten und gelehrte Gesellschaften, vertheilt über den Erdball von Tomsk bis Melbourne, haben mir Diplome und schön geschmückte feierliche Adressen geschickt, um mir ihre Anerkennung meiner wissenschaftlichen Bestrebungen und den Dank dafür zum Theil in Ausdrücken auszusprechen, die ich nicht ohne Beschämung lesen kann. Meine Vaterstadt Potsdam hat mich zu ihrem Ehrenbürger gemacht. Dazu kommen ungezählte Einzelne, wissenschaftliche und persönliche Freunde, Schüler und Unbekannte, die mir Glückwünsche in Telegrammen und Briefen gesendet.

Aber noch mehr. Sie wollen meinen Namen gleichsam z
Fahne einer grossartigen Stiftung machen, welche, von Freund
der Wissenschaft aller Nationen gegründet, wissenschaftliche F
schung in allen Ländern des Erdballs ermuthigen und förde
soll. Die Wissenschaft und die Kunst sind zur Zeit ja das ein
übrig gebliebene Friedensband der civilisirten Nationen. I
immer höher wachsender Ausbau ist ein gemeinsames Ziel All
das in gemeinsamer Arbeit Aller, zum gemeinsamen Vorth
Aller angestrebt wird. Ein grosses und heiliges Werk! Ja,
Stifter wollen ihre Gabe vorzugsweise zur Förderung derjenig
Zweige des Forschens bestimmen, die ich in meinem eigen
Leben verfolgt habe, und mich dabei, in meiner zeitlichen E
schränkung, künftigen Geschlechtern fast wie ein Vorbild d
Forschung hinstellen. Es ist dies die stolzeste Ehre, die
mir erweisen können, insofern Sie mir dadurch Ihr unbedi
günstiges Urtheil zu erkennen geben; aber es würde an V
messenheit streifen, wenn ich sie annähme ohne die stille E
wartung, dass die Preisrichter künftiger Jahrhunderte sich f
von den Rücksichten auf meine zeitliche Persönlichkeit mach
werden.

Sogar die zeitliche Gestalt, in der ich durch dies Leben g
gangen bin, haben Sie durch einen Meister ersten Ranges
Marmor bilden lassen, so dass ich den nachkommenden G
schlechtern künftig in idealerer Gestalt erscheinen werde, als d
jetzt Lebenden; ein Meister der Radirnadel hat dafür gesor
dass getreue Bilder von mir unter den Lebenden verbreitet werd
können.

Ich kann nicht verkennen, dass Alles, was Sie mir geth
haben, Aeusserungen Ihres aufrichtigsten und höchsten Wol
wollens sind, und ich bin Ihnen dafür zum höchsten Danke ve
pflichtet.

Aber ich bitte Sie um Verzeihung, wenn diese Fülle v
Ehren mich zunächst mehr in Erstaunen setzt und verwirrt,
dass ich sie begreifen könnte. Ich finde in meinem eigenen B
wusstsein für den Werth dessen, was ich zu leisten gestrebt hal

keinen entsprechenden Maassstab, welcher mir ein ähnliches Facit gäbe, wie Sie es gezogen haben. Ich weiss, in wie einfacher Weise Alles, was ich zu Stande gebracht habe, entstanden ist, wie die von meinen Vorgängern ausgebildeten Methoden der Wissenschaft mich folgerichtig dazu geführt haben, wie mir zuweilen ein günstiger Zufall oder ein glücklicher Umstand geholfen hat. Aber der Hauptunterschied wird wohl der sein: was ich langsam aus kleinen Anfängen durch Monate und Jahre mühsamer und oft genug tastender Arbeit aus unscheinbaren Keimen habe wachsen sehen, das ist Ihnen plötzlich, wie eine gewappnete Pallas aus dem Haupte des Jupiter, vor Augen gesprungen. Ihr Urtheil war durch Ueberraschung beeinflusst, das meinige nicht; es mag auch vielleicht durch die Ermüdung der Arbeit und durch Aerger über allerlei irrationelle Schritte, die ich unterwegs gemacht hatte, oft etwas herabgestimmt worden sein.

Die Fachgenossen und das Publicum urtheilen über ein Werk der Wissenschaft oder der Kunst nach dem Nutzen, der Belehrung oder Freude, die es ihnen gebracht hat. Der Autor ist meist geneigt seine Werthschätzung nach der darauf verwendeten Mühe anzusetzen; und diese beiden Arten der Schätzung treffen selten zusammen. Im Gegentheil ist aus den gelegentlichen Aeusserungen einiger der berühmtesten Männer, namentlich unter den Künstlern, zu erkennen, dass sie auf die Leistungen, die uns in ihren Werken als unnachahmlich und unerreichbar entgegentreten, verhältnissmässig geringes Gewicht legten, im Vergleich zu anderen, die ihnen schwer wurden, die aber den Lesern und Beschauern viel weniger gelungen erscheinen. Ich erinnere nur an Goethe, der nach Eckermann's Bericht einmal geäussert hat, seine dichterischen Werke schätze er nicht so hoch, wie das, was er in der Farbenlehre geleistet.

Soll ich nun Ihren Versicherungen und den Urhebern der an mich gelangten Adressen Glauben schenken, so mag es mir — wenn auch in bescheidenerem Maasse — ähnlich gegangen sein. Erlauben Sie mir also Ihnen kurz zu berichten, wie ich in meine Arbeitsrichtung hinein gekommen bin.

In meinen ersten sieben Lebensjahren war ich ein kränklicher Knabe, lange an das Zimmer, oft genug an das Bett gefesselt, aber mit lebhaftem Triebe nach Unterhaltung und nach Thätigkeit. Die Eltern haben sich viel mit mir beschäftigt; Bilderbücher und Spiel, hauptsächlich mit Bauhölzchen, halfen mir sonst die Zeit ausfüllen. Dazu kam ziemlich früh auch das Lesen, was natürlich den Kreis meiner Unterhaltungsmittel sehr erweiterte. Aber wohl ebenso früh zeigte sich auch ein Mangel meiner geistigen Anlage darin, dass ich ein schwaches Gedächtniss für unzusammenhängende Dinge hatte. Als erstes Zeichen davon betrachte ich die Schwierigkeit, deren ich mich noch deutlich entsinne, rechts und links zu unterscheiden; später als ich in der Schule an die Sprachen kam, wurde es mir schwerer als Anderen, die Vocabeln, die unregelmässigen Formen der Grammatik, die eigenthümlichen Redewendungen mir einzuprägen. Der Geschichte vollends, wie sie uns damals gelehrt wurde, wusste ich kaum Herr zu werden. Stücke in Prosa auswendig zu lernen, war mir eine Marter. Dieser Mangel ist natürlich nur gewachsen und eine Plage meines Alters geworden.

Wenn ich aber kleine mnemotechnische Hülfsmittel hatte, auch nur solche, wie sie das Metrum und der Reim in Gedichten geben, ging das Auswendiglernen und das Behalten des Gelernten schon viel besser. Gedichte von grossen Meistern behielt ich sehr leicht, etwas gekünstelte Verse von Meistern zweiten Ranges lange nicht so gut. Ich denke, das wird wohl von dem natürlichen Fluss der Gedanken in den guten Gedichten abhängig gewesen sein und bin geneigt, in diesem Verhältniss eine wesentliche Wurzel ästhetischer Schönheit zu suchen. In den oberen Gymnasialklassen konnte ich einige Gesänge der Odyssee, ziemlich viele Oden des Horaz und grosse Schätze deutscher Poesie recitiren. In dieser Richtung befand ich mich also ganz in der Lage unserer ältesten Vorfahren, welche noch nicht schreiben konnten und deshalb ihre Gesetze und ihre Geschichte in Versen fixirten, um sie auswendig zu lernen.

Was dem Menschen leicht wird, pflegt er gern zu thun; so

war ich denn zunächst auch ein grosser Bewunderer der Poesie. Die Neigung wurde durch meinen Vater gefördert, der ein zwar pflichtstrenger aber enthusiastischer Mann war, begeistert für Dichtkunst, besonders für die grosse Zeit der deutschen Literatur. Er gab uns in den oberen Gymnasialklassen den deutschen Unterricht und las mit uns den Homer. Wir mussten unter seiner Leitung auch abwechselnd deutsche Aufsätze in Prosa und metrische Uebungen machen — Gedichte, wie wir sie nannten. Aber wenn auch die meisten von uns schwache Dichter blieben, so lernten wir doch dabei besser, als durch irgend eine andere mir bekannte Uebung das, was wir zu sagen hatten, in die mannigfaltigsten Ausdrucksweisen umzuwenden.

Das vollkommenste mnemotechnische Hülfsmittel, was es giebt, ist aber die Kenntniss des Gesetzes der Erscheinungen. Dies lernte ich zuerst in der Geometrie kennen. Von meinen Kinderspielen mit Bauhölzern her, waren mir die Beziehungen der räumlichen Verhältnisse zu einander durch Anschauung wohl bekannt. Wie sich Körper von regelmässiger Form an einander legen und zusammenpassen würden, wenn ich sie so oder so wendete, das wusste ich sehr gut, ohne vieles Nachdenken. Als ich zur wissenschaftlichen Lehre der Geometrie kam, waren mir eigentlich alle Thatsachen, die ich lernen sollte, zur Ueberraschung meiner Lehrer ganz wohlbekannt und geläufig. Soweit meine Rückerinnerung reicht, kam das schon in der Volksschule des Potsdamer Schullehrerseminars, die ich bis zu meinem achten Lebensjahre besuchte, gelegentlich zum Vorschein. Neu war mir dagegen die strenge Methode der Wissenschaft, und unter ihrer Hülfe fühlte ich die Schwierigkeiten schwinden, die mich in anderen Gebieten gehemmt hatten.

Der Geometrie fehlte nur Eines; sie behandelte ausschliesslich abstracte Raumformen, und ich hatte doch grosse Freude an der vollen Wirklichkeit. Grösser und kräftiger geworden, bewegte ich mich viel mit meinem Vater oder mit Schulgenossen in den schönen Umgebungen meiner Vaterstadt Potsdam umher, und gewann grosse Liebe zur Natur. So kam es wohl, dass mich

die ersten Bruchstücke der Physik, die ich im Gymnasium kennen lernte, bald viel intensiver fesselten, als die rein geometrischen und algebraischen Studien. Hier war ein reicher und mannigfaltiger Inhalt, mit der vollen Machtfülle der Natur, der unter die Herrschaft des begrifflich gefassten Gesetzes zurückgeführt werden konnte. Auch war in der That das Erste, was mich fesselte, vorzugsweise die geistige Bewältigung der uns anfangs fremd gegenüberstehenden Natur durch die logische Form des Gesetzes. Aber natürlich schloss sich bald die Erkenntniss an, dass die Kenntniss der Gesetze der Naturvorgänge auch der Zauberschlüssel sei, der seinem Inhaber Macht über die Natur in die Hände gebe. In diesen Gedankenkreisen fühlte ich mich heimisch.

Ich stürzte mich mit Freude und grossem Eifer auf das Studium aller physikalischen Lehrbücher, die ich in der Bibliothek meines Vaters fand. Es waren sehr altmodische, in denen noch das Phlogiston sein Wesen trieb und der Galvanismus noch nicht über die Voltaische Säule hinausgewachsen war. Auch suchte ich mit einem Jugendfreunde allerlei Versuche, von denen wir gelesen, mit unseren kleinen Hülfsmitteln nachzumachen. Die Wirkung von Säuren auf die Leinwandvorräthe unserer Mütter haben wir gründlich kennen gelernt; sonst gelang wenig; am besten noch der Bau von optischen Instrumenten mit Brillengläsern, die auch in Potsdam zu haben waren, und mit einer kleinen botanischen Loupe meines Vaters. Die Beschränkung der äusseren Mittel hatte in jenem frühen Stadium für mich den Nutzen, dass ich die Pläne für die anzustellenden Versuche immer wieder umzuwenden lernte, bis ich eine für mich ausführbare Form derselben gefunden hatte. Ich muss gestehen, dass ich manches Mal, wenn die Klasse Cicero oder Virgil las, welche beide mich höchlichst langweilten, unter dem Tische den Gang der Strahlenbündel durch Teleskope berechnete und dabei schon einige optische Sätze fand, von denen in den Lehrbüchern nichts zu stehen pflegte, die mir aber nachher bei der Construction des Augenspiegels nützlich wurden.

So kam es, dass ich in die besondere Richtung des Studiums eintrat, die ich nachher festgehalten habe, und die sich unter den angegebenen Umständen zu einem Triebe von leidenschaftlichem Eifer entwickelte. Dieser Trieb, die Wirklichkeit durch den Begriff zu beherrschen, oder was, wie ich meine, nur ein anderer Ausdruck derselben Sache ist, den ursächlichen Zusammenhang der Erscheinungen zu entdecken, hat mich durch mein Leben geführt, und seine Intensität war auch wohl daran Schuld, dass ich keine Ruhe bei scheinbaren Auflösungen eines Problems fand, so lange ich noch dunkle Punkte darin fühlte.

Nun sollte ich zur Universität übergehen. Die Physik galt damals noch für eine brodlose Kunst. Meine Eltern waren zu grosser Sparsamkeit gezwungen; also erklärte mir der Vater, er wisse mir nicht anders zum Studium der Physik zu helfen, als wenn ich das der Medicin mit in den Kauf nähme. Ich war dem Studium der lebenden Natur durchaus nicht abgeneigt und ging ohne viel Schwierigkeit darauf ein. Der einzige einflussreiche Mann unserer Familie war ein Arzt gewesen, der ehemalige Generalchirurgus Mursinna; und diese Verwandtschaft empfahl mich unter den anderen Bewerbern für die Aufnahme in unsere militärärztliche Lehranstalt, das Friedrich-Wilhelms-Institut, welches die Durchführung des medicinischen Studiums unbemittelten Studirenden sehr wesentlich erleichterte.

Bei diesem Studium trat ich gleich unter den Einfluss eines tiefsinnigen Lehrers, des Physiologen Johannes Müller, desselben, der in gleicher Zeit auch du Bois-Reymond, Brücke, Ludwig und Virchow, der Physiologie und Anatomie zugeführt hat. Johannes Müller kämpfte noch in den Räthselfragen über die Natur des Lebens zwischen der alten, wesentlich metaphysischen, und der neu sich entwickelnden naturwissenschaftlichen Betrachtungsweise; aber die Ueberzeugung, dass die Kenntniss der Thatsachen durch nichts Anderes zu ersetzen sei, trat bei ihm mit steigender Festigkeit auf; und dass er selbst noch rang, machte seinen Einfluss auf seine Schüler vielleicht um so grösser.

Junge Leute greifen am liebsten gleich von vorn herein die tiefsten Probleme an, so ich die Frage nach dem räthselhaften Wesen der Lebenskraft. Die Mehrzahl der Physiologen hatte damals den Ausweg G. E. Stahl's ergriffen, dass es zwar die physikalischen und chemischen Kräfte der Organe und Stoffe des lebenden Körpers seien, die in ihm wirkten, dass aber eine in ihm wohnende Lebenseele oder Lebenskraft die Wirksamkeit dieser Kräfte zu binden und zu lösen im Stande sei, dass das freie Walten dieser Kräfte nach dem Tode die Fäulniss hervorrufe, dass dagegen während des Lebens ihre Action fortdauernd durch die Lebenseele regulirt werde. In dieser Erklärung ahnte ich etwas Widernatürliches; aber es hat mir viel Mühe gemacht, meine Ahnung in eine präcise Frage umzugestalten. Endlich, in meinem letzten Studienjahr, fand ich, dass Stahl's Theorie jedem lebenden Körper die Natur eines Perpetuum mobile beilegte. Mit den Streitigkeiten über das letztere war ich ziemlich bekannt. Ich hatte sie in meiner Schulzeit von meinem Vater und unserem Mathematiker oft besprechen hören. Dann hatte ich als Eleve des Friedrich-Wilhelms-Instituts in der Bibliothek desselben Assistenz geleistet, und in unbeschäftigten Minuten die Werke von Daniel Bernouilli, d'Alembert und anderen Mathematikern des vorigen Jahrhunderts mir herausgesucht und durchmustert. So stiess ich auf die Frage: „Welche Beziehungen müssen zwischen den verschiedenartigen Naturkräften bestehen, wenn allgemein kein Perpetuum mobile möglich sein soll?“ und die weitere: „Bestehen nun thatsächlich alle diese Beziehungen?“ Meiner Absicht nach wollte ich in meinem Büchlein über die Erhaltung der Kraft nur eine kritische Untersuchung und Ordnung der Thatsachen im Interesse der Physiologen geben.

Ich wäre vollkommen darauf gefasst gewesen, wenn mir die Sachverständigen schliesslich gesagt hätten: „Das ist uns ja Alles wohlbekannt. Was denkt sich der junge Mediciner, dass er meint, uns dies so ausführlich auseinandersetzen zu müssen?“ Zu meinem Erstaunen nahmen aber die physikalischen Autoritäten, mit denen ich in Berührung kam, die Sache ganz anders

auf. Sie waren geneigt die Richtigkeit des Gesetzes zu leugnen und in dem eifrigen Kampfe gegen Hegel's Naturphilosophie, den sie führten, auch meine Arbeit für eine phantastische Speculation zu erklären. Nur der Mathematiker Jacobi erkannte den Zusammenhang meines Gedankenganges mit dem der Mathematiker des vorigen Jahrhunderts, interessirte sich für meinen Versuch und schützte mich vor Missdeutung. Dagegen fand ich enthusiastischen Beifall und praktische Hülfe bei meinen jüngeren Freunden, namentlich bei Emil du Bois-Reymond. Bald zogen diese auch die Mitglieder der jüngsten physikalischen Gesellschaft von Berlin auf meine Seite herüber. Von Joule's Arbeiten über dasselbe Thema wusste ich damals nur wenig, von Robert Mayer noch nichts.

Es schlossen sich daran einige kleinere physiologische Experimentalarbeiten über Fäulniss und Gährung, worin ich den Nachweis liefern konnte, dass beide keineswegs freiwillig eintretende oder durch die Mitwirkung des atmosphärischen Sauerstoffs hervorgerufene, rein chemische Zersetzungen seien, wie Liebig wollte; dass namentlich weinige Gährung durchaus an die Anwesenheit der Hefepilze gebunden ist, die nur durch Fortzeugung entstehen. Ferner die Arbeit über Stoffwechsel bei der Muskelaction, an die sich später die Arbeit über Wärmeentwickelung bei der Muskelaction schloss, welche Processe nach dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft zu erwarten waren.

Diese Arbeiten genügten, um die Aufmerksamkeit Johannes Müller's und der Preussischen Unterrichtsverwaltung auf mich zu lenken und mir den Ruf als Nachfolger Brücke's nach Berlin und gleich darauf den an die Universität Königsberg zu verschaffen. Die militärärztlichen Behörden willigten in dankenswerther Liberalität in die Aufhebung meiner Verpflichtung zu weiterem Militärdienst, um mir den Uebergang in eine wissenschaftliche Stellung möglich zu machen.

In Königsberg hatte ich Allgemeine Pathologie und Physiologie vorzutragen. Ein Universitätslehrer ist einer ungemein nützlichen Disciplin unterworfen, indem er alljährlich den ganzen

Umfang seiner Wissenschaft so vortragen muss, dass er auch die hellen Köpfe unter seinen Zuhörern, die grossen Männer der nächsten Generation, überzeugt und befriedigt; diese Nöthigung trug mir zunächst zwei werthvolle Früchte ein.

Bei der Vorbereitung zur Vorlesung stiess ich nämlich zunächst auf die Möglichkeit des Augenspiegels und dann auf den Plan, die Fortpflanzungszeit der Reizung in den Nerven zu messen.

Der Augenspiegel ist wohl die populärste meiner wissenschaftlichen Leistungen geworden, aber ich habe schon den Augenärzten berichtet, wie dabei das Glück eigentlich eine unverhältnissmässig grössere Rolle gespielt hat, als mein Verdienst. Ich hatte die Theorie des Augenleuchtens, die von Brücke herrührte, meinen Schülern auseinanderzusetzen. Brücke war hierbei eigentlich nur noch um eines Haares Breite von der Erfindung des Augenspiegels entfernt gewesen. Er hatte nur versäumt, sich die Frage zu stellen, welchem optischen Bilde die aus dem leuchtenden Auge zurückkommenden Strahlen angehörten. Für seinen damaligen Zweck war es nicht nöthig, diese Frage zu stellen. Hätte er sie gestellt, so war er durchaus der Mann dazu, sie ebenso schnell zu beantworten wie ich, und der Plan zum Augenspiegel wäre gegeben gewesen. Ich wendete das Problem etwas hin und her, um zu sehen, wie ich es am einfachsten meinen Zuhörern würde vortragen können und stiess dabei auf die bezeichnete Frage. Die Noth der Augenärzte bei den Zuständen, die man damals unter dem Namen des schwarzen Staares zusammenfasste, kannte ich sehr wohl aus meinen medicinischen Studien. Ich machte mich sogleich daran, das Instrument aus Brillengläsern und Deckgläschen für mikroskopische Objecte zusammenzukitten. Zunächst war es noch mühsam zu gebrauchen. Ohne die gesicherte theoretische Ueberzeugung, dass es gehen müsste, hätte ich vielleicht nicht ausgeharrt. Aber nach etwa acht Tagen hatte ich die grosse Freude, der Erste zu sein, der eine lebende menschliche Netzhaut klar vor sich liegen sah.

Für meine äussere Stellung vor der Welt war die Construction des Augenspiegels sehr entscheidend. Ich fand nun

bei Behörden und Fachgenossen bereitwilligste Anerkennung und Geneigtheit für meine Wünsche, so dass ich fortan viel freier den inneren Antrieben meiner Wissbegier folgen durfte. Uebrigens erklärte ich mir selbst meine guten Erfolge wesentlich aus dem Umstande, dass ich durch ein günstiges Geschick als ein mit einigem geometrischen Verstande und mit physikalischen Kenntnissen ausgestatteter Mann unter die Mediciner geworfen war, wo ich in der Physiologie auf jungfräulichen Boden von grosser Fruchtbarkeit stiess, und dass ich andererseits durch die Kenntniss der Lebenserscheinungen auf Fragen und Gesichtspunkte geführt worden war, die gewöhnlich den reinen Mathematikern und Physikern fern liegen. Meine mathematischen Anlagen hatte ich bis dahin doch nur mit denen meiner Mitschüler und denen meiner medicinischen Commilitonen vergleichen können; dass ich diesen hierin meist überlegen war, wollte nicht gerade viel sagen. Ausserdem war in der Schule die Mathematik immer nur als Fach zweiten Ranges betrachtet worden. Im lateinischen Aufsatze dagegen, der damals noch wesentlich die Siegespalme bestimmte, war mir immer eine Hälfte meiner Mitschüler voraus gewesen.

Meine Arbeiten waren nach meinem eigenen Bewusstsein einfach folgerichtige Anwendungen der in der Wissenschaft entwickelten experimentellen und mathematischen Methoden gewesen, die durch leicht gefundene Modificationen dem jedesmaligen besonderen Zwecke angepasst werden konnten. Meine Commilitonen und Freunde, die sich, wie ich selbst, der physikalischen Seite der Physiologie gewidmet hatten, leisteten nicht minder überraschende Dinge.

Aber allerdings konnte es im weiteren Verlaufe dabei nicht bleiben. Ich musste die nach bekannten Methoden zu lösenden Aufgaben allmählich meinen Schülern im Laboratorium überlassen und mich selbst schwereren Arbeiten von unsicherem Erfolge zuwenden, wo die allgemeinen Methoden den Forscher im Stich liessen, oder wo die Methode selbst noch erst weiter zu bilden war.

Auch in diesen Gebieten, die den Grenzen unseres Wissens näher kommen, ist mir ja noch mancherlei gelungen, Experimentelles und Mathematisches. Ich weiss nicht, ob ich das Philosophische hinzurechnen darf. In ersterer Beziehung war ich allmählich wie Jeder, der viel experimentelle Aufgaben angegriffen hat, ein erfahrener Mann geworden, kannte viele Wege und Hülfsmittel und hatte meine Jugendanlage der geometrischen Anschauung zu einer Art mechanischer Anschauung entwickelt; ich fühlte gleichsam, wie sich die Drucke und Züge in einer mechanischen Vorrichtung vertheilen, was man übrigens bei erfahrenen Mechanikern und Maschinenbauern auch findet. Vor solchen hatte ich dann immer noch einigen Vorsprung dadurch, dass ich mir verwickeltere und besonders wichtige Verhältnisse durch theoretische Analyse durchsichtig machen konnte.

Auch bin ich im Stande gewesen, einige mathematisch-physikalische Probleme zu lösen, und darunter sogar solche, an welchen die grossen Mathematiker seit Euler sich vergebens bemüht hatten, z. B. die Fragen über die Wirbelbewegungen und die Discontinuität der Bewegung in Flüssigkeiten, die Frage über die Schallbewegung an den offenen Enden der Orgelpfeifen u. s. w. Aber der Stolz, den ich über das Endresultat in diesen Fällen hätte empfinden können, wurde beträchtlich herabgesetzt dadurch, dass ich wohl wusste, wie mir die Lösungen solcher Probleme fast immer nur durch allmählich wachsende Generalisationen von günstigen Beispielen, durch eine Reihe glücklicher Einfälle nach mancherlei Irrfahrten gelungen waren. Ich musste mich vergleichen einem Bergsteiger, der, ohne den Weg zu kennen, langsam und mühselig hinaufklimmt, oft umkehren muss, weil er nicht weiter kann, der bald durch Ueberlegung, bald durch Zufall neue Wegspuren entdeckt, die ihn wieder ein Stück vorwärts leiten, und endlich, wenn er sein Ziel erreicht, zu seiner Beschämung einen königlichen Weg findet, auf dem er hätte herauffahren können, wenn er gescheidt genug gewesen wäre, den richtigen Anfang zu finden. In meinen Abhandlungen habe ich natürlich den Leser dann nicht von meinen Irrfahrten unter-

halten, sondern ihm nur den gebahnten Weg beschrieben, auf dem er jetzt ohne Mühe die Höhe erreichen mag.

Es giebt ja viele Leute von engem Gesichtskreise, die sich selbst höchlichst bewundern, wenn sie einmal einen glücklichen Einfall gehabt haben oder ihn gehabt zu haben glauben. Ein Forscher oder Künstler, der eine grosse Menge glücklicher Einfälle hat, ist ja unzweifelhaft eine bevorzugte Natur und wird als ein Wohlthäter der Menschheit anerkannt. Wer aber will solche Geistesblitze zählen und wägen, wer den geheimen Wegen der Vorstellungsverknüpfungen nachgehen, dessen

> Was vom Menschen nicht gewusst
> Oder nicht bedacht,
> Durch das Labyrinth der Brust
> Wandelt in der Nacht.

Ich muss sagen, als Arbeitsfeld sind mir die Gebiete, wo man sich nicht auf günstige Zufälle und Einfälle zu verlassen braucht, immer angenehmer gewesen.

Da ich aber ziemlich oft in die unbehagliche Lage kam, auf günstige Einfälle harren zu müssen, habe ich darüber, wann und wo sie mir kamen, einige Erfahrungen gewonnen, die vielleicht Anderen noch nützlich werden können. Sie schleichen oft genug still in den Gedankenkreis ein, ohne dass man gleich von Anfang ihre Bedeutung erkennt; später hilft dann zuweilen nur noch ein zufälliger Umstand, um zu erkennen, wann und unter welchen Umständen sie gekommen sind; sonst sind sie da, ohne dass man weiss woher. In anderen Fällen aber treten sie plötzlich ein, ohne Anstrengung, wie eine Inspiration. So weit meine Erfahrung geht, kamen sie nie dem ermüdenden Gehirne und nicht am Schreibtisch. Ich musste immer erst mein Problem nach allen Seiten so viel hin- und hergewendet haben, dass ich alle seine Wendungen und Verwickelungen im Kopfe überschaute und sie frei, ohne zu schreiben, durchlaufen konnte. Es dahin zu bringen, ist ohne längere vorausgehende Arbeit meistens nicht möglich. Dann musste, nachdem die davon herrührende Ermüdung vorübergegangen war, eine Stunde vollkommener

körperlicher Frische und ruhigen Wohlgefühls eintreten, ehe die guten Einfälle kamen. Oft waren sie wirklich, den citirten Versen Goethe's entsprechend, des Morgens beim Aufwachen da, wie auch Gauss einst angemerkt hat[1]). Besonders gern aber kamen sie, wie ich schon in Heidelberg berichtet, bei gemächlichem Steigen über waldige Berge in sonnigem Wetter. Die kleinsten Mengen alkoholischen Getränks aber schienen sie zu verscheuchen.

Solche Momente fruchtbarer Gedankenfülle waren freilich sehr erfreulich, weniger schön war die Kehrseite, wenn die erlösenden Einfälle nicht kamen. Dann konnte ich mich Wochen lang, Monate lang in eine solche Frage verbeissen, bis mir zu Muthe war wie

dem Thier auf dürrer Haide
Von einem bösen Geist im Kreis herumgeführt
Und rings umher ist schöne grüne Weide.

Schliesslich war es oft nur ein grimmer Anfall von Kopfschmerzen, der mich aus meinem Bann erlöste, und mich wieder frei für andere Interessen machte.

Ein anderes Gebiet habe ich noch betreten, auf welches mich die Untersuchungen über Sinnesempfindungen und Sinneswahrnehmungen führten, nämlich das der Erkenntnisstheorie. Wie ein Physiker Fernrohr und Galvanometer untersuchen muss, mit denen er arbeiten will, sich klar machen, was er damit erreichen, wo sie ihn täuschen können, so schien es mir geboten, auch die Leistungsfähigkeit unseres Denkvermögens zu untersuchen. Es handelte sich dabei auch nur um eine Reihe thatsächlicher Fragen, über die bestimmte Antworten gegeben werden konnten und mussten. Wir haben bestimmte Sinneseindrücke; wir wissen in Folge dessen zu handeln. Der Erfolg der Handlung stimmt der Regel nach mit dem überein, was wir als beobachtbare Folge erwarten, zuweilen, bei sogenannten Sinnestäuschungen, auch nicht. Das sind alles objective Thatsachen, deren gesetzliches Verhalten wird gefunden werden können. Mein

[1]) Gauss' Werke Bd. V, S. 609: Das Inductionsgesetz (gefunden 1835, am 23. Januar, Morgens 7 Uhr v. d. Aufstehen).

wesentlichstes Ergebniss war, dass die Sinnesempfindungen nur Zeichen für die Beschaffenheit der Aussenwelt sind, deren Deutung durch Erfahrung gelernt werden muss. Das Interesse für die erkenntnisstheoretischen Fragen ward mir schon in der Jugend eingeprägt, dadurch dass ich meinen Vater, der einen tiefen Eindruck von Fichte's Idealismus behalten hatte, mit Collegen, die Hegel oder Kant verehrten, oft habe streiten hören. Auf diese Untersuchungen stolz zu werden, habe ich bisher wenig Veranlassung gehabt. Denn auf je einen Freund habe ich dabei etwa zehn Gegner gefunden; namentlich habe ich immer alle Metaphysiker, auch die materialistischen, und alle Leute von verborgenen metaphysischen Neigungen dadurch aufgebracht. Aber die Adressen der letzten Tage haben mich eine ganze Reihe von Freunden entdecken lassen, die ich bisher nicht kannte, so dass ich dem heutigen Feste auch in dieser Beziehung Freude und neue Hoffnung verdanke. Freilich ist die Philosophie seit nahe dreitausend Jahren der Tummelplatz der heftigsten Meinungsverschiedenheiten gewesen, und man darf nicht erwarten, dass diese im Laufe eines Menschenlebens zum Schweigen gebracht werden können.

Ich wollte Ihnen auseinandersetzen, wie, von meinem Standpunkte aus gesehen, die Geschichte meiner wissenschaftlichen Bestrebungen und Erfolge, so weit solche da sind, aussieht; vielleicht verstehen Sie nun, dass ich überrascht bin durch die ungewöhnliche Fülle des Lobes, das Sie über mich ausgiessen. Meine Erfolge sind mir zunächst für mein Urtheil über mich selbst von Werth gewesen, weil sie mir den Maasstab abgaben für das, was ich weiter versuchen durfte; sie haben mich aber, hoffe ich, nicht zur Selbstbewunderung verleitet. Wie verderblich übrigens der Grössenwahn für einen Gelehrten werden kann, habe ich oft genug gesehen, und habe mich deshalb stets davor zu hüten gesucht, dass ich diesem Feinde nicht verfiele. Ich wusste, dass strenge Selbstkritik an eigenen Arbeiten und Fähigkeiten das schützende Palladium gegen dieses Verhängniss ist. Aber man braucht nur die Augen offen zu halten für das, was andere

können, und was man selbst nicht kann, dann, finde ich, ist die Gefahr nicht gross. Was meine eigenen Arbeiten betrifft, so glaube ich, dass ich niemals die letzte Correctur einer Abhandlung beendet hatte, ohne 24 Stunden später wieder einige Punkte gefunden zu haben, die ich besser oder vollständiger hätte machen können.

Was schliesslich den Dank betrifft, den Sie mir zu schulden behaupten, so würde ich unaufrichtig sein, wenn ich sagen wollte, das Wohl der Menschheit habe mir von Anfang an als bewusster Zweck meiner Arbeit vor Augen gestanden. Es war in Wahrheit die besondere Form meines Wissensdranges, die mich vorwärts trieb und mich bestimmte alle brauchbare Zeit, die mir meine amtlichen Geschäfte und die Sorge für meine Familie übrig liessen, für wissenschaftliche Arbeit zu verwenden. Diese beiden Vorbehalte verlangten übrigens auch keine wesentliche Abweichung von den Zielen, nach denen ich strebte. Mein Amt gab mir die Pflicht, mich für die Universitätsvorträge fähig zu halten; die Familie, meinen Ruf als Forscher zu befestigen. Der Staat, der mir Unterhalt, wissenschaftliche Hülfsmittel und ein gut Theil freier Zeit gewährte, hatte meines Erachtens dadurch ein Recht zu verlangen, dass ich in geeigneter Form Alles, was ich mit seiner Untersützung gefunden hatte, frei und vollständig meinen Mitbürgern mittheile.

Die schriftliche Ausarbeitung wissenschaftlicher Untersuchungen ist meist ein mühsames Werk; wenigstens war sie es mir in hohem Grade. Ich habe viele Theile meiner Abhandlungen vier bis sechs Mal umgeschrieben, die Anordnung des Ganzen hin- und hergeworfen, ehe ich einigermaassen zufrieden war. Aber in einer solchen sorgfältigen Abfassung der Arbeit liegt auch ein grosser Gewinn für den Autor. Sie zwingt ihn zur schärfsten Prüfung jedes einzelnen Satzes und Schlusses, viel eingehender noch als die vorher erwähnten Vorträge an der Universität. Ich habe nie eine Untersuchung für fertig gehalten, ehe sie nicht vollständig und ohne logische Lücken schriftlich formulirt vor mir stand.

Als mein Gewissen gleichsam standen dabei vor meiner Vorstellung die sachverständigsten meiner Freunde. Ob sie meine Arbeit billigen würden? fragte ich mich. Sie schwebten vor mir als die Verkörperung des wissenschaftlichen Geistes einer idealen Menschheit und gaben mir den Maasstab.

Ich will nicht sagen, dass in der ersten Hälfte meines Lebens, als ich noch für meine äussere Stellung zu arbeiten hatte, nicht höhere ethische Beweggründe mitgewirkt hätten neben der Wissbegier und meinem Pflichtgefühl als Beamter des Staates; aber es war schwerer, ihres wirklichen Bestehens sicher zu werden, so lange noch egoistische Motive zur Arbeit trieben. Es wird ja wohl den meisten Forschern ebenso gehen. Aber später, bei gesicherter Stellung, wenn diejenigen, welche keinen inneren Drang zur Wissenschaft haben, ganz aufhören zu arbeiten, tritt für Andere, welche weiter arbeiten, eine höhere Auffassung ihres Verhältnisses zur Menschheit in den Vordergrund. Sie gewinnen allmählich aus eigener Erfahrung eine Anschauung davon, wie die Gedanken, die von ihnen ausgegangen sind, sei es durch die Literatur, sei es durch mündliche Belehrung ihrer Schüler, in den Zeitgenossen fortwirken und gleichsam ein unabhängiges Leben weiter führen; wie diese Gedanken, durch ihre Schüler weiter durchgearbeitet, reicheren Inhalt und festere Form erhalten und ihrem Erzeuger selbst wieder neue Belehrung zuführen. Die eigenen Gedanken des Einzelnen hängen natürlich fester mit seinem ganzen geistigen Gesichtskreise zusammen, als fremde, und er empfindet mehr Förderung und Befriedigung, wenn er die eigenen sich reicher entwickeln sieht, als die fremden. Schliesslich stellt sich für ein solches Gedankenkind bei seinem Erzeuger eine Art von Vaterliebe ein, die ihn treibt, für die Förderung dieser Sprösslinge ebenso zu sorgen und zu streiten, wie für die leiblichen.

Gleichzeitig aber tritt ihm auch die ganze Gedankenwelt der civilisirten Menschheit als ein fortlebendes und sich weiter entwickelndes Ganzes entgegen, dessen Lebensdauer, der kurzen des einzelnen Individuums gegenüber, als ewig erscheint. Er sieht

sich mit seinen kleinen Beiträgen zum Aufbau der Wissensch in den Dienst einer ewigen heiligen Sache gestellt, mit er durch enge Bande der Liebe verknüpft ist. Dadurch w ihm seine Arbeit selbst geheiligt. Theoretisch begreifen ka das vielleicht ein Jeder, aber diesen Begriff bis zu einem dräng den Gefühl zu entwickeln, dazu mag eigene Erfahrung nöthig s

Die Welt, welche an ideale Motive nicht gerne glaubt, ne dieses Gefühl Ruhmsucht. Es giebt aber ein entscheiden Kennzeichen, um beide Arten der Gesinnung zu unterscheid Stelle die Frage: Ist es Dir einerlei, ob von Dir gewonn Forschungsresultate als Dir gehörig anerkannt werden oder nic wenn sich mit der Beantwortung dieser Frage Rücksichten äusseren Vortheil nicht mehr verbinden. Bei den Leitern Laboratorien liegt die Antwort am offensten da. Der Leh muss meist die Grundgedanken der Arbeit dazu geben, ebe gut, wie eine Menge von Vorschlägen für die Ueberwindung ne experimenteller Schwierigkeiten, bei denen mehr oder weni Erfindung in Betracht kommt. Das Alles geht in die Arl des Schülers über, und geht schliesslich, wenn die Arbeit gelii unter dessen Namen in die Oeffentlichkeit. Wer will nach unterscheiden, was der Eine, was der Andere gegeben? Und viele Lehrer giebt es doch, die in dieser Beziehung von je Eifersucht frei sind!

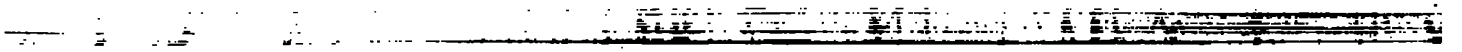
Also, meine Herren, ich bin in der glücklichen Lage gewes dass meine angeborene Neigung, wenn ich ihr frei folgte, m zu Arbeiten hintrieb, um deren willen Sie mich loben, indem behaupten, dadurch Nutzen und Belehrung gewonnen zu hal Ich bin sehr glücklich darüber, dass ich schliesslich noch Bei und Dank von Zeitgenossen in so reichem Maasse erhalte eine Thätigkeit, welche für mich die interessanteste war, die einzuschlagen wusste. Aber auch mir haben meine Zeitgenos Vieles und Wesentliches geleistet. Abgesehen von der äusse Sorge um meine und der Meinigen Existenz, die sie mir genommen, und abgesehen von den äusseren Hülfsmitteln, die mir gewährt haben, habe ich bei ihnen den Maasstab der geisti

Fähigkeiten des Menschen gefunden, und durch ihre Theilnahme an meinen Arbeiten haben sie mir die lebendige Anschauung von dem Leben der gemeinsamen Geisteswelt der idealen Menschheit erweckt, welche mir selbst den Werth meiner Bemühungen in ein höheres Licht rücken musste. Unter diesen Bedingungen kann ich den Dank, den Sie mir entgegenbringen wollen, nur als eine freie Gabe der Liebe betrachten, gegeben ohne Gegengabe und ohne Verpflichtung.

Ueber
Goethe's naturwissenschaftliche Arbeiten

Vortrag gehalten zu Königsberg

1853



Goethe, dessen umfassendes Talent namentlich in der besonnenen Klarheit hervortrat, womit er die Wirklichkeit des Menschen und der Natur in ihren kleinsten Zügen mit lebensfrischer Anschauung festzuhalten und wiederzugeben wusste, ward durch diese besondere Richtung seines Geistes mit Nothwendigkeit zu naturwissenschaftlichen Studien hingeführt, in denen er nicht nur aufnahm, was Andere ihn zu lehren wussten, sondern auch, wie es bei einem so ursprünglichen Geiste nicht anders sein konnte, bald selbstthätig und zwar in höchst eigenthümlicher Weise einzugreifen versuchte. Er wandte seine Thätigkeit sowohl dem Gebiete der beschreibenden, als dem der physikalischen Naturwissenschaften zu; jenes geschah namentlich in seinen botanischen und osteologischen Abhandlungen, dieses in der Farbenlehre. Die ersten Gedankenkeime dieser Arbeiten fallen meist in das letzte Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts, wenn auch ihre Ausführung und Darstellung theilweise später vollendet ist. Seitdem hat die Wissenschaft in sehr ausgedehnter Weise vorwärts gearbeitet, zum Theil ganz neues Ansehen gewonnen, ganz neue Gebiete der Forschung eröffnet, ihre theoretischen Vorstellungen mannigfach geändert. Ich will versuchen, im Vorliegenden das Verhältniss der Arbeiten Goethe's zum gegenwärtigen Standpunkte der Naturwissenschaften zu schildern und den gemeinsamen leitenden Gedanken derselben anschaulich zu machen.

Der eigenthümliche Charakter der beschreibenden Naturwissenschaften, Botanik, Zoologie, Anatomie u. s. w., wird dadurch bedingt, dass sie ein ungeheures Material von Thatsachen zu sammeln, zu sichten und zunächst in eine logische Ordnung, ein System, zu bringen haben. So weit ist ihre Arbeit nur die trockene eines Lexicographen, ihr System ein Repositorium, in welchem die

Masse der Acten so geordnet ist, dass Jeder in jedem Augenblicke das Verlangte finden kann. Der geistigere Theil ihrer Arbeit und ihr eigentliches Interesse beginnt erst, wenn sie versuchen, den zerstreuten Zügen von Gesetzmässigkeit in der unzusammenhängenden Masse nachzuspüren und sich daraus ein übersichtliches Gesammtbild herzustellen, in welchem jedes Einzelne seine Stelle und sein Recht behält und durch den Zusammenhang mit dem Ganzen an Interesse noch gewinnt. Hier fand der ordnende und ahnende Geist unseres Dichters ein geeignetes Feld für seine Thätigkeit, und zugleich war die Zeit ihm günstig. Er fand schon genug Material in der Botanik und vergleichenden Anatomie gesammelt und logisch geordnet vor, um eine umfassende Rundschau zu erlauben und auf richtige Ahnungen einer durchgehenden Gesetzmässigkeit hinzuweisen. Dagegen irrten die Bestrebungen seiner Zeitgenossen in dieser Beziehung meist ohne Leitfaden umher, oder sie waren noch so sehr von der Mühe des trockenen Einregistrirens in Anspruch genommen, dass sie an weitere Aussichten kaum zu denken wagten. Hier war es Goethe vorbehalten, zwei bedeutende Gedanken von ungemeiner Fruchtbarkeit in die Wissenschaft hineinzuwerfen.

Die erste Idee war, dass die Verschiedenheiten in dem anatomischen Bau der verschiedenen Thiere aufzufassen seien als Abänderungen eines gemeinsamen Bauplanes oder Typus, bedingt durch die verschiedenen Lebensweisen, Wohnorte, Nahrungsmittel. Die Veranlassung für diesen folgereichen Gedanken war sehr unscheinbar und findet sich in der schon 1786 geschriebenen, kleinen Abhandlung über das Zwischenkieferbein. Man wusste, dass bei sämmtlichen Wirbelthieren (d. h. Säugethieren, Vögeln, Amphibien, Fischen) die obere Kinnlade jederseits aus zwei Knochenstücken besteht, dem sogenannten Oberkiefer- und Zwischenkieferbein. Ersteres enthält bei den Säugethieren stets die Backen- und Eckzähne, letzteres die Schneidezähne. Der Mensch, welcher sich von ihnen allen durch den Mangel der vorragenden Schnauze unterscheidet, hatte dagegen jederseits nur ein Knochenstück, das Oberkieferbein, welches alle Zähne enthielt. Da entdeckte Goethe auch am menschlichen Schädel schwache Spuren der Nähte, welche bei den Thieren Oberkiefer und Zwischenkiefer verbinden, und schloss daraus, dass auch der Mensch ursprünglich einen Zwischenkiefer besitze, der aber später durch Verschmelzung mit dem Oberkiefer verschwinde. Diese unscheinbare Thatsache lässt ihn sogleich einen Quell des anregendsten Interesses in dem wegen seiner

Trockenheit übel-berüchtigten Boden der Osteologie entdecken. Dass Mensch und Thier ähnliche Theile zeigen, wenn sie diese Theile zu ähnlichen Zwecken dauernd gebrauchen, hatte nichts Ueberraschendes gehabt. In diesem Sinne hatte schon Camper die Aehnlichkeiten des Baues bis zu den Fischen hin zu verfolgen gesucht. Aber dass diese Aehnlichkeit der Anlage nach bestehe, auch in einem Falle, wo sie den Anforderungen des vollendeten menschlichen Baues offenbar nicht entspricht, und ihnen deshalb nachträglich durch Verwachsung der getrennt entstandenen Theile angepasst werden muss, das war ein Wink, welcher dem geistigen Auge von Goethe genügte, um ihm einen Standpunkt von weit umfassender Aussicht anzuzeigen. Weitere Studien überzeugten ihn bald von der Allgemeingültigkeit seiner neugewonnenen Anschauung, so dass er im Jahre 1795 und 1796 die ihm dort aufgegangene Idee näher bestimmen und in dem Entwurf einer allgemeinen Einleitung in die vergleichende Anatomie zu Papier bringen konnte. Er lehrt darin mit der grössten Entschiedenheit und Klarheit, dass alle Unterschiede im Bau der Thierarten aufgefasst werden müssten als Veränderungen des einen Grundtypus, welche durch Verschmelzung, Umformung, Vergrösserung, Verkleinerung oder gänzliche Beseitigung einzelner Theile hervorgebracht seien. Es ist das, im gegenwärtigen Zustande der vergleichenden Anatomie, in der That die leitende Idee dieser Wissenschaft geworden. Sie ist später nirgends besser und klarer ausgesprochen, als es durch Goethe geschehen ist; auch hat die Folgezeit nur wenige wesentliche Veränderungen daran vorgenommen, deren wichtigste die ist, dass man den gemeinsamen Typus jetzt nicht für das ganze Thierreich, sondern für jede der von Cuvier aufgestellten Hauptabtheilungen desselben zu Grunde legt. Der Fleiss von Goethe's Nachfolgern hat ein unendlich viel reicheres, wohlgesichtetes Material zusammengehäuft und hat das, was er nur in allgemeinen Andeutungen geben konnte, in das Speziellste verfolgt und durchgeführt.

Die zweite leitende Idee, welche Goethe der Wissenschaft schenkte, sprach eine ähnliche Analogie zwischen den verschiedenen Theilen ein und desselben organischen Wesens aus, wie wir sie eben für die entsprechenden Theile verschiedener Arten beschrieben haben. Die meisten Organismen zeigen eine vielfältige Wiederholung einzelner Theile. Am auffallendsten ist das bei den Pflanzen; eine jede pflegt eine grosse Anzahl gleicher Stengelblätter, gleicher Blüthenblätter, Staubfäden u. s. w. zu haben.

Goethe wurde zuerst, wie er erzählt, beim Anblick einer Fäch palme in Padua darauf aufmerksam, wie mannigfach die Uel gänge zwischen den verschiedenen Formen der nach einan entwickelnden Stengelblätter einer Pflanze sein können, wie, s der ersten einfachsten Wurzelblättchen, mehr und mehr gethe Blätter und schliesslich die zusammengesetztesten Fiederblä sich entwickeln; es gelang ihm auch später die Uebergänge zwisc den Blättern des Stengels und denen des Kelches und der Blü zwischen letzteren und den Staubfäden, Nectarien und Sam gebilden zu finden und so zur Lehre von der Metamorphose Pflanzen zu gelangen, welche er 1790 veröffentlichte. Wie vordere Extremität der Wirbelthiere sich bald zum Arm b Menschen und Affen, bald zur Pfote mit Nägeln, bald zum Vor fuss mit Hufen, bald zur Flosse, bald zum Flügel entwickelt immer eine ähnliche Gliederung, Stellung und Verbindung dem Rumpfe behält, so erscheint das Blatt bald als Keimblatt, l als Stengelblatt, Kelchblatt, Blüthenblatt, Staubfaden, Honiggef Pistill, Samenhülle u. s. w. immer mit einer gewissen Aehnlichl der Entstehung und Zusammensetzung und, unter ungewöhnlic Umständen, auch bereit, aus der einen Form in die andere üb zugehen. Jeder, der eine gefüllte Rose aufmerksam betrach wird ihre theils halb, theils ganz in Blüthenblätter verwandel Staubfäden leicht erkennen. Auch diese Anschauungsw Goethe's ist gegenwärtig in der Wissenschaft vollständig gebürgert und erfreut sich der allgemeinen Zustimmung. Botaniker, wenn auch über einzelne Deutungen gestritten w z. B. ob der Samen ein Blatt oder ein Zweig sei.

Unter den Thieren ist die Zusammensetzung aus ähnlic Theilen sehr auffallend in der grossen Abtheilung der Geringel z. B. der Insecten und Ringelwürmer. Die Insectenlarve, die Ra eines Schmetterlings, besteht aus einer Anzahl ganz gleicher Körp abschnitte, der Leibesringel; nur der erste und letzte zeigen wisse Abweichungen. Bei ihrer Verwandlung zum vollkomme Insecte bewährt sich sehr leicht und deutlich die Anschauur weise, welche Goethe in der Metamorphose der Pflanzen a gefasst hatte: die Entwickelung des ursprünglich Gleichartigen anscheinend sehr verschiedenen Formen. Die Ringel des Hin leibes behalten ihre ursprüngliche einfache Form, die des Br stückes ziehen sich stark zusammen, entwickeln Füsse und Flü die des Kopfes Kinnladen und Fühlhörner, so dass an vollkom nen Insecten die ursprünglichen Ringel nur noch am Hinterle

zu erkennen sind. Auch bei den Wirbelthieren ist die Wiederholung gleichartiger Theile in der Wirbelsäule angedeutet, aber in der äusseren Gestalt nicht mehr zu erkennen. Ein glücklicher Blick auf einen halbgesprengten Schafschädel, welchen Goethe im Sande des Lido von Venedig 1790 zufällig fand, lehrte ihn auch den Schädel als eine Reihe stark veränderter Wirbel aufzufassen. Beim ersten Anblick kann nichts unähnlicher sein, als die weite, einförmige, von platten Knochen begrenzte Schädelhöhle der Säugethiere und das enge cylindrische, aus kurzen, massigen und vielfach gezackten Knochen zusammengesetzte Rohr der Wirbelsäule. Es gehört ein geistreicher Blick dazu, um im Schädel der Säugethiere die ausgeweiteten und umgeformten Wirbelringe wiederzuerkennen, während bei Amphibien und Fischen die Aehnlichkeit auffallender ist. Goethe liess übrigens diesen Gedanken lange Zeit liegen, ehe er ihn veröffentlichte; vielleicht, weil er seiner günstigen Aufnahme nicht recht sicher war. Unterdessen fand Oken 1806 denselben Gedanken, führte ihn in die Wissenschaft ein und gerieth darüber in einen Prioritätsstreit mit Goethe, welcher erst 1817, als der Gedanke anfing sich Beifall zu erwerben, erklärte, dass er ihn seit 30 Jahren gehegt habe. Ueber die Zahl und die Zusammensetzung der einzelnen Schädelwirbel ward und wird noch viel gestritten, der Grundgedanke hat sich aber erhalten.

Die Lehre von der Pflanzenmetamorphose ist als Goethe's anerkanntes und directes Eigenthum in die Botanik eingeführt worden. Seine Ansichten über den gemeinsamen Bauplan der Thiere scheinen dagegen nicht eigentlich direct in den Entwickelungsgang der Wissenschaften eingegriffen zu haben. Seine osteologischen Ansichten stiessen zuerst auf Widerspruch bei den Männern vom Fache und wurden erst später, als sich die Wissenschaft, wie es scheint, unabhängig zu derselben Erkenntniss durchgearbeitet hatte, Gegenstand der Aufmerksamkeit. Er selbst klagt, dass seine ersten Ideen über den gemeinsamen Typus zur Zeit, als er sie in sich durcharbeitete, nur Widerspruch und Zweifel gefunden und dass sogar Männer von frisch aufkeimender Originalität, wie Alexander und Wilhelm von Humboldt, sie nur mit einer gewissen Ungeduld angehört hätten. Es liegt aber in der Natur der Sache, dass theoretische Ideen in den Naturwissenschaften nur dann die Aufmerksamkeit der Fachgenossen erregen, wenn sie gleichzeitig mit dem ganzen beweisenden Materiale vorgeführt werden und durch dieses ihre thatsächliche Berechtigung darlegen. Jedenfalls aber gebührt Goethe der grosse

Ruhm, die leitenden Ideen zuerst vorausgeschaut zu haben, zu denen der eingeschlagene Entwickelungsgang der genannten Wissenschaften hindrängte und durch welche deren gegenwärtige Gestalt bestimmt wird.

So gross nun die Verehrung ist, welche Goethe durch seine Leistungen in den beschreibenden Naturwissenschaften sich erworben hat, so unbedingt ist auch der Widerspruch, den seine Arbeiten auf dem Gebiete der physikalischen Naturwissenschaften, namentlich seine Farbenlehre bei sämmtlichen Fachgenossen gefunden haben. Es ist hier nicht die Stelle, mich in die darüber geführte Polemik einzulassen; ich will nur versuchen, den Gegenstand des Streites, seinen verborgenen Sinn, seine eigentliche Bedeutung darzulegen und nachzuweisen. Es ist in dieser Beziehung von Wichtigkeit auf die Entstehungsgeschichte der Farbenlehre und ihren ersten einfachsten Stand zurückzugehen; weil hier schon die Gegensätze vollständig vorhanden sind und nicht verhüllt durch Streit um die Richtigkeit besonderer Thatsachen und verwickelter Theorien, sich leicht und klar darlegen lassen.

Goethe selbst erzählt sehr hübsch in der Confession am Schluss seiner Geschichte der Farbenlehre, wie er dazu gekommen war, diese zu bearbeiten. Weil er sich die ästhetischen Grundsätze des Colorits in der Malerei nicht klar machen konnte, beschloss er, die physikalische Farbenlehre, wie sie ihm auf der Universität gelehrt worden war, wieder vorzunehmen und die dazu gehörigen Versuche selbst zu wiederholen. Er borgt zu dem Ende ein Glasprisma vom Hofrath Büttner in Jena, lässt es aber längere Zeit unbenutzt liegen, weil andere Beschäftigungen ihn von seinem Vorsatze ablenken. Der Eigenthümer, ein ordnungsliebender Mann, schickt, nach mehreren vergeblichen Mahnungen, einen Boten, der das Prisma gleich mit sich zurücknehmen soll. Goethe sucht es aus dem Kasten hervor und möchte doch wenigstens noch einen Blick hindurch thun. Er sieht auf das Gerathewohl nach einer ausgedehnten hellen weissen Wand hin, in der Voraussetzung, da sei viel Licht, da müsse er auch eine glänzende Zerlegung dieses Lichts in Farben sehen, eine Voraussetzung, welche übrigens beweist, wie wenig gegenwärtig ihm Newton's Theorie der Sache war. Er findet sich natürlich getäuscht. Auf der weissen Wand erscheinen ihm keine Farben; diese entwickeln sich erst da, wo sie von dunkleren Gegenständen begrenzt werden, und er macht die richtige Bemerkung, welche übrigens in Newton's Theorie ebenfalls ihre vollständige Begründung findet, dass Farben durch das

Prisma nur da erscheinen, wo ein dunklerer Gegenstand an einen helleren stösst. Betroffen von dieser ihm neuen Bemerkung und in der Meinung, sie sei mit Newton's Theorie nicht vereinbar, sucht er den Eigenthümer des Prisma zu beschwichtigen und macht sich nun mit angestrengtem Eifer und Interesse über die Sache her. Er bereitet sich Tafeln mit schwarzen und weissen Feldern, studirt an diesen die Erscheinungen unter mannigfachen Abänderungen, bis er seine Regeln hinreichend bewährt glaubt. Nun versucht er seine vermeintliche Entdeckung einem benachbarten Physiker zu zeigen, und ist unangenehm überrascht, von diesem die Versicherung zu hören, die Versuche seien allbekannt und erklärten sich vollständig aus Newton's Theorie der Sache. Dieselbe Erklärung trat ihm von nun an unabänderlich aus dem Munde jedes Sachverständigen entgegen, selbst bei dem genialen Lichtenberg, den er eine Zeit lang vergebens zu bekehren suchte. Newton's Schriften studirte er und glaubte die Trugschlüsse, welche den Grund des Irrthums enthalten sollten, darin aufgefunden zu haben. Da er keinen seiner Bekannten zu überzeugen vermochte, beschloss er endlich, vor den Richterstuhl der Oeffentlichkeit zu treten und gab nun 1791 und 1792 das erste und zweite Stück seiner Beiträge zur Optik heraus.

Darin sind die Erscheinungen beschrieben, welche weisse Felder auf schwarzem Grunde, schwarze auf weissem und farbige Felder auf schwarzem oder weissem Grunde darbieten, wenn sie durch ein Prisma angesehen werden. Ueber den Erfolg der Versuche ist durchaus kein Streit zwischen ihm und den Physikern. Er beschreibt die gesehenen Erscheinungen umständlich, streng naturgetreu und lebhaft, ordnet sie in einer angenehm zu übersehenden Weise zusammen und bewährt sich hier, wie überall im Gebiete des Thatsächlichen, als der grosse Meister der Darstellung. Er spricht dabei aus, dass er die vorgetragenen Thatsachen zur Widerlegung von Newton's Theorie geeignet halte. Namentlich sind es zwei Punkte, an denen er Anstoss nimmt, nämlich, dass die Mitte einer weissen breiteren Fläche, durch das Prisma gesehen, weiss bleibe, und dass auch ein schwarzer Streifen auf weissem Grunde ganz in Farben aufgelöst werden könne.

Newton's Farbentheorie gründet sich auf die Annahme, dass es Licht verschiedener Art gebe, welches sich unter anderem auch durch den Farbeneindruck unterscheide, den es im Auge mache. So gebe es Licht von rother, orangener, gelber, grüner, blauer, violetter Farbe wie von allen zwischenliegenden Uebergangsstufen.

Licht verschiedener Art und Farbe zusammengemischt gebe M
farben, die theils anderen ursprünglichen Farben ähnlich s
theils neue Farbentöne bilden. Weiss sei die Mischung alle
nannten Farben in bestimmten Verhältnissen. Aus den M
farben und dem Weiss könne man aber stets die einfachen Fa
wieder ausscheiden, die letzteren seien dagegen unzerlegbar
unveränderlich. Die Farben der durchsichtigen und und
sichtigen irdischen Körper entständen dadurch, dass diese
weissem Lichte getroffen, einzelne farbige Theile desselben
nichteten, andere, welche nun nicht mehr im richtigen Verhä
gemischt seien um Weiss zu geben, dem Auge zuschickten
erscheine ein rothes Glas deshalb roth, weil es nur rothe Str
durchlasse. Alle Farbe rühre also nur von einem veränd
Mischungsverhältnisse des Lichtes her, gehöre also ursprün
dem Lichte an, nicht den Körpern, und letztere seien nu
Veranlassung zu ihrem Hervortreten.

Ein Prisma bricht das durchgehende Licht, d. h. lenkt e
einen gewissen Winkel von seinem Wege ab; verschiedenfar
einfaches Licht hat nach Newton verschiedene Brechba
schlägt deshalb nach der Brechung im Prisma verschiedene
ein und trennt sich von einander. Ein heller Punkt von
schwindend kleiner Grösse erscheint deshalb, durch das P
gesehen, aus seiner Stelle gerückt und in eine farbige Linie
sogenanntes Farbenspectrum, ausgezogen, welches die genau
einfachen Farben in der angegebenen Reihenfolge zeigt. Betra
man eine breitere helle Fläche, so fallen, wie eine leichte
metrische Untersuchung zeigt, die Spectra der in ihrer Mitt
legenen Punkte so übereinander, dass alle Farben überall in
Verhältnisse, um Weiss zu geben, zusammentreffen. Nur an
Rändern werden sie theilweise frei. Es erscheint daher die w
Fläche verschoben; an dem einen Rande blau und violett
anderen gelb und roth gesäumt. Ein schwarzer Streif zwis
zwei weissen Flächen kann von deren farbigen Säumen gan
deckt werden; wo sie in der Mitte zusammenstossen, mis
sich Roth und Violett zur Purpurfarbe. Die Farben, in die
schwarze Streif aufgelöst erscheint, entstehen also nicht aus
Schwarzen, sondern aus dem umgebenden Weissen.

Im ersten Augenblicke hat Goethe offenbar Newton's Th
zu wenig im Gedächtniss gehabt. um die physikalische Erklä
der genannten Thatsachen, die ich eben angedeutet habe, fi
zu können. Später ist sie ihm vielfach und zwar durchaus

ständlich vorgetragen worden, denn er spricht darüber mehrere Male so, dass man sieht, er habe sie ganz richtig verstanden[1]). Sie genügt ihm aber so wenig, dass er dennoch fortwährend bei der Behauptung bleibt, die angegebenen Thatsachen seien geeignet, Jedem, der sie nur ansehe, die gänzliche Unrichtigkeit von Newton's Theorie vor Augen zu legen. Aber weder hier noch in seinen späteren polemischen Schriften bezeichnet Goethe auch nur ein einziges Mal mit Bestimmtheit, worin denn das Ungenügende der Erklärung liege. Er wiederholt nur immer wieder und wieder die Versicherung ihrer gänzlichen Absurdität. Und doch weiss ich nicht, wie Jemand — seine Ansicht über die Farben sei wie sie wolle — zu bestreiten vermag, dass die Theorie in sich vollständig consequent ist, dass ihre Annahmen, einmal zugegeben, die besprochenen Thatsachen vollständig und sogar einfach erklären. Newton selbst erwähnt an vielen Stellen seiner optischen Schriften solcher unreinen, in der Mitte noch weissen Spectra, ohne sich je in eine besondere Erörterung darüber einzulassen, offenbar in der Meinung, dass die Erklärung davon sich aus seinen Annahmen von selbst verstehe. Und er scheint sich in dieser Meinung nicht getäuscht zu haben, denn als Goethe anfing, auf die betreffenden Erscheinungen aufmerksam zu machen, trat ihm ein Jeder, der etwas von Physik wusste, wie er selbst berichtet, unabänderlich mit dieser selben Erklärung aus Newton's Principien sogleich entgegen, die sich also ein Jeder auf der Stelle zu bilden im Stande war.

Den Lesenden, der aufmerksam und gründlich jeden Schritt in diesem Theile der Farbenlehre sich klar zu machen sucht, überschleicht hier leicht ein unheimliches ängstliches Gefühl; er hört fortdauernd einen Mann von der seltensten geistigen Begabung leidenschaftlich versichern, in einigen scheinbar ganz klaren, ganz einfachen Schlüssen sei eine augenfällige Absurdität verborgen. Er sucht und sucht, und da er beim besten Willen keine solche finden kann, nicht einmal einen Schein davon, wird ihm endlich zu Muthe, als wären seine eigenen Gedanken wie festgenagelt. Aber eben wegen dieses offenen und schroffen Widerspruches ist der Standpunkt, den Goethe 1792 in der Farbenlehre einnahm, so interessant und wichtig. Er hat hier seine eigene Theorie noch nicht entwickelt; es handelt sich noch um einige wenige

[1]) In der Erklärung der neunten Kupfertafel zur Farbenlehre, welche gegen Green gerichtet ist.

leicht zu übersehende Thatsachen, über deren Richtigkeit alle Parteien einig sind, und doch stehen beide mit ihren Ansichten streng gesondert einander gegenüber; keiner begreift auch nur, was der Gegner eigentlich wolle. Auf der einen Seite steht eine Zahl von Physikern, welche durch lange Reihen der scharfsinnigsten Untersuchungen, Rechnungen und Erfindungen die Optik zu einer Vollendung gebracht haben, dass sie als die einzige der physikalischen Wissenschaften mit der Astronomie fast zu wetteifern anfing. Alle haben theils durch directe Untersuchungen, theils durch die Sicherheit, mit der sie den Erfolg der mannigfaltigsten Constructionen und Combinationen von Instrumenten voraus berechnen können, Gelegenheit gehabt, die Folgerungen aus Newton's Ansichten an der Erfahrung zu prüfen, und stimmen in diesem Felde ausnahmslos überein. Auf der anderen Seite steht ein Mann, dessen seltene geistige Grösse, dessen besonderes Talent für die Auffassung der thatsächlichen Wirklichkeit wir nicht nur in der Dichtkunst, sondern auch in den beschreibenden Theilen der Naturwissenschaften anzuerkennen Ursache haben; der mit dem grössten Eifer versichert, seine Gegner seien im Irrthume; der in seiner Ueberzeugung so gewiss ist, dass er sich jeden Widerspruch nur durch Beschränktheit oder bösen Willen erklären kann; der endlich seine Leistungen in der Farbenlehre für viel werthvoller erklärt, als Alles, was er je in der Dichtkunst gethan habe[1]).

Ein so schroffer Widerspruch lässt uns vermuthen, dass hinter der Sache ein viel tiefer liegender principieller Gegensatz verschiedener Geistesrichtungen verborgen sei, der das gegenseitige Verständniss der streitenden Parteien verhindere. Ich will mich bemühen, im Folgenden zu bezeichnen, worin ich einen solchen zu finden glaube.

Goethe, obgleich er sich in vielen Feldern geistiger Thätigkeit versucht hat, ist seiner hervorragendsten Begabung nach Dichter. Das Wesentliche der dichterischen wie jeder künstlerischen Thätigkeit besteht darin, das künstlerische Material zum unmittelbaren Ausdruck der Idee zu machen. Nicht als das Resultat einer Begriffsentwickelung, sondern als das der unmittelbaren geistigen Anschauung, des erregten Gefühls, dem Dichter selbst kaum bewusst, muss die Idee in dem vollendeten Kunstwerk daliegen und es beherrschen. Durch diese Einkleidung in die Form unmittelbarer Wirklichkeit empfängt der ideelle Gehalt des Kunst-

[1]) S. Eckermann's Gespräche.

werkes eben die ganze Lebendigkeit des unmittelbaren sinnlichen Eindruckes, verliert aber natürlich die Allgemeinheit und Verständlichkeit, welche er, in der Form des Begriffes vorgetragen, haben würde. Der Dichter, welcher in dieser besonderen Art der geistigen Thätigkeit die eigene wunderbare Kraft seiner Werke begründet fühlt, sucht dieselbe auch auf andere Gebiete zu übertragen. Die Natur sucht er nicht in anschauungslose Begriffe zu fassen, sondern er stellt sich ihr gegenüber wie einem in sich geschlossenen Kunstwerke, welches seinen geistigen Inhalt von selbst hier oder dort dem empfänglichen Beschauer offenbaren müsse. So wird ihm auf dem Lido von Venedig, beim Anblick des gesprengten Schafschädels, an dem ihm die Wirbeltheorie des Schädels aufgeht, sein alter, durch Erfahrung bestärkter Glauben wieder aufgefrischt, dass die Natur kein Geheimniss habe, was sie nicht irgendwo dem aufmerksamen Beobachter nackt vor die Augen stelle. Dasselbe geschieht bei seinem ersten Gespräch mit Schiller über die Metamorphose der Pflanzen. Für Schiller, den Kantianer, ist die Idee das ewig zu erstrebende, ewig unerreichbare und daher nie in der Wirklichkeit darzustellende Ziel, während Goethe, als echter Dichter, in der Wirklichkeit den unmittelbaren Ausdruck der Idee zu finden meint. Er selbst giebt an, dass dadurch der Punkt, der ihn von Schiller trennt, auf das Strengste bezeichnet sei. Hier liegt auch seine Verwandtschaft mit Schelling's und Hegel's Naturphilosophie, welche ebenfalls von der Annahme ausgeht, dass die Natur die verschiedenen Entwickelungsstufen des Begriffs unmittelbar darstelle. Daher auch die Wärme, mit der Hegel und seine Schüler Goethe's naturwissenschaftliche Ansichten vertheidigt haben. Die bezeichnete Naturansicht bedingt bei Goethe denn auch die fortgesetzte Polemik gegen zusammengesetzte Versuchsweisen. Wie das ächte Kunstwerk keinen fremden Eingriff erträgt, ohne beschädigt zu werden, so wird ihm auch die Natur durch die Eingriffe des Experimentirenden in ihrer Harmonie gestört, gequält, verwirrt, und sie täuscht dafür den Störenfried durch ein Zerrbild.

Geheimnissvoll am lichten Tag
Lässt sich Natur des Schleiers nicht berauben,
Und was sie deinem Geist nicht offenbaren mag,
Das zwingst du ihr nicht ab mit Hebeln und mit Schrauben.

Demgemäss spottet er oftmals, namentlich in seiner Polemik gegen Newton, der durch viele enge Spalten und Gläser hin-

durchgequälten Farbenspectra und preist die Versuche, welche man in klarem Sonnenschein unter freiem Himmel anstellen könne, nicht nur als besonders leicht und besonders ergötzlich, sondern auch als besonders beweisend.

Die dichterische Richtung geistiger Thätigkeit charakterisirt sich schon ganz entschieden in seinen morphologischen Arbeiten. Man untersuche nur, was denn eigentlich mit den Ideen geleistet ist, die die Wissenschaft von ihm empfangen hat, man wird ein höchst wunderliches Verhältniss finden. Niemand wird sich gegen die Evidenz verschliessen, wenn ihm die Reihenfolge der Veränderungen vorgelegt wird, womit ein Blatt in einen Staubfaden, ein Arm in einen Flügel oder eine Flosse, ein Wirbel in das Hinterhauptbein übergeht. Die Idee, sämmtliche Blüthentheile der Pflanze seien umgeformte Blätter, eröffnet einen gesetzmässigen Zusammenhang, der etwas sehr Ueberraschendes hat. Jetzt suche man das blattartige Organ zu definiren, sein Wesen zu bestimmen, so dass es alle die genannten Gebilde in sich begreift. Man geräth in Verlegenheit, weil alle besonderen Merkmale verschwinden, und man zuletzt nichts übrig behält, als dass ein Blatt im weiteren Sinne ein seitlicher Anhang der Pflanzenaxe sei. Sucht man also den Satz: „die Blüthentheile sind veränderte Blätter", in der Form wissenschaftlicher Begriffsbestimmungen auszusprechen, so verwandelt er sich in den anderen: „die Blüthentheile sind seitliche Anhänge der Pflanzenaxe", und um das zu sehen, braucht kein Goethe zu kommen. Ebenso hat man der Wirbeltheorie des Schädels nicht mit Unrecht vorgeworfen, sie müsse den Begriff des Wirbels so sehr erweitern, dass nichts übrig bleibe, als, ein Wirbel sei ein Knochen. Nicht kleiner ist die Verlegenheit, wenn man in klaren wissenschaftlichen Begriffen definiren soll, was es bedeute, dass dieser Theil des einen Thieres jenem des anderen entspreche. Es ist nicht der gleiche physiologische Gebrauch, denn dasselbe Knochenstück, welches bei einem Vogel zur Einlenkung des Unterkiefers dient, wird bei einem Säugethiere ein winziges, in der Tiefe des Felsenbeins verborgenes Gehörknöchelchen, — es ist nicht die Gestalt, nicht die Lage, nicht die Verbindung mit anderen Theilen, welche einen constanten Charakter seiner Identität abgeben. Aber dennoch ist es in den meisten Fällen durch Verfolgung der Uebergangsstufen möglich gewesen, mit ziemlicher Sicherheit auszumitteln, welche Theile sich entsprechen. Goethe selbst hat dieses Verhältniss sehr richtig eingesehen; er sagt bei Gelegenheit der Wirbeltheorie des Schädels:

„Ein dergleichen Aperçu, ein solches Gewahrwerden, Auffassen, Vorstellen, Begriff, Idee, wie man es nennen mag, behält immerfort, man geberde sich, wie man will, eine esoterische Eigenschaft; im Ganzen lässt es sich aussprechen, aber nicht beweisen, im Einzelnen lässt es sich wohl vorzeigen, doch bringt man es nicht rund und fertig.“ So steht die Sache grösstentheils noch jetzt. Man kann sich den Unterschied noch klarer machen, wenn man überlegt, wie die Physiologie, die Erforscherin des ursächlichen Zusammenhangs der Lebensvorgänge, diese Idee des gemeinsamen Bauplanes der Thiere behandeln müsste. Sie könnte fragen: Ist etwa die Ansicht richtig, wonach während der geologischen Entwicklung der Erde sich eine Thierart aus der anderen gebildet habe, und hat sich dabei die Brustflosse des Fisches allmählich in einen Arm oder Flügel verwandelt? Oder sind die verschiedenen Thierarten gleich fertig erschaffen worden, und rührt ihre Aehnlichkeit daher, dass die frühesten Schritte der Entwicklung aus dem Ei bei allen Wirbelthieren nur auf eine einzige, sehr übereinstimmende Weise von der Natur ausgeführt werden können, und sind die späteren Analogien des Baues durch diese ersten gemeinsamen Grundzüge der Entwicklung bedingt? Zu der letztern Ansicht möchte sich die Mehrzahl der Forscher gegenwärtig neigen[1]), denn die Uebereinstimmung in den früheren Zeiten der Entwicklung ist sehr auffallend. So haben selbst die jungen Säugethiere zeitweise die Anlagen zu Kiemenbögen an den Seiten des Halses, wie die Fische, und es scheinen in der That die sich entsprechenden Theile der erwachsenen Thiere während der Entwicklung auf gleiche Weise zu entstehen, so dass man neuerdings angefangen hat, die Entwicklungsgeschichte als Controle für die theoretischen Ansichten der vergleichenden Anatomie zu gebrauchen. Man sieht, dass durch die angedeuteten physiologischen Ansichten die Idee des gemeinsamen Typus ihre begriffliche Bestimmung und Bedeutung bekommen würde. Goethe hat Grosses geleistet, indem er ahnte, dass ein Gesetz vorhanden sei, und die Spuren desselben scharfsichtig verfolgte; aber welches Gesetz da sei, erkannte er nicht und suchte auch nicht danach. Das letztere lag nicht in der Richtung seiner Thätigkeit; und darüber ist selbst bei dem jetzigen Zustande der Wissenschaft noch keine feststehende Ansicht möglich, kaum dass die Art erkannt

---

[1]) Dies ist vor Darwin's Buche über den Ursprung der Arten geschrieben.

wird, wie die Fragen zu stellen sein werden. Gern erkenne also an, dass Goethe in diesem Gebiete Alles geleistet ha in seiner Zeit überhaupt zu leisten war. Ich sagte vorh stelle sich der Natur wie einem Kunstwerke gegenüber. In morphologischen Studien spielt er dieselbe Rolle, wie der sinnige Hörer einer Tragödie, welcher fein herausfühlt, d dieser alles Einzelne zusammengehört, zusammenwirkt, von gemeinsamen Plane beherrscht wird, und sich an dieser vollen Planmässigkeit lebhaft erfreut, ohne doch die leitend des Ganzen begriffsmässig entwickeln zu können. Das l Geschäft bleibt der wissenschaftlichen Betrachtung des Kuns vorbehalten, und jener Hörer ist vielleicht, wie Goethe der gegenüber, kein Freund solcher Zergliederung des Werk dem er sich freut, weil er, aber mit Unrecht, fürchtet, Freude könne ihm dadurch gestört werden.

Aehnlich ist Goethe's Standpunkt in der Farbenlehre haben gesehen, dass seine Opposition gegen die physik Theorie bei einem Punkte anhebt, wo diese ganz vollständig consequente Erklärungen aus ihren einmal angenommenen lagen giebt. Er kann offenbar nicht daran Anstoss genc haben, dass die Theorie in dem einzelnen Falle nicht aus sondern vielmehr an den Annahmen, die sie zum Zwecke d klärung macht, und die ihm so absurd erscheinen, dass er d die gegebene Erklärung als gar keine achtet. Es schein namentlich der Gedanke undenkbar gewesen zu sein, dass Licht aus farbigem zusammengesetzt werden könne; e dammt schon in jener frühesten Zeit[1]) das ekelhafte Newto Weiss der Physiker, ein Ausdruck, welcher anzudeuten s dass besonders diese Annahme ihn in jener Erklärun leidigte.

Auch in seiner spätern Polemik gegen Newton, welch herausgegeben wurde, nachdem seine eigene Theorie der F vollendet war, geht Goethe's Streben mehr dahin, zu zeigen die von Newton angeführten Thatsachen sich auch aus Ansicht erklären liessen, und dass die Ansicht Newton's d nicht genügend bewiesen sei, als dass er in derselben Widersprüche oder solche gegen die Thatsachen nachzu suchte. Vielmehr glaubte er, seine eigene Ansicht sei so zeugend, dass er sie nur vorzuführen brauche, um di

[1]) Confession am Schluss der Geschichte der Farbenlehre.

nahme Newton's zu vernichten. Es sind nur wenige Stellen, wo er die von Newton beschriebenen Versuche bestreitet. Die Wiederholung von einigen derselben[1]) scheint ihm deshalb nicht geglückt zu sein, weil nicht bei allen Stellungen der dabei gebrauchten Linsen der Erfolg gleich leicht zu beobachten ist, und weil ihm die geometrischen Verhältnisse unbekannt waren, durch welche sich die günstigste Stellung der Linsen bestimmt. Bei anderen Versuchen über die Ausscheidung einfachen farbigen Lichtes mit Hülfe blosser Prismen sind Goethe's Einwürfe nicht ganz unrichtig, insofern die Reinigung der isolirten Farben auf diesem Wege wohl schwerlich so weit getrieben werden kann, dass die Brechung in einem andern Prisma nicht Spuren einer andern Färbung an den Rändern noch geben sollte. Eine so vollständige Ausscheidung des einfach farbigen Lichtes lässt sich nur in sehr sorgfältig geordneten, gleichzeitig aus Prismen und Linsen bestehenden Apparaten bewirken, und Goethe ist die Besprechung gerade dieser Versuche, welche er auf einen supplementaren Theil verschoben hatte, schuldig geblieben. Wenn er auf die verwirrende Complication dieser Vorrichtungen schilt, so denke man an die mühsamen Umwege, welche der Chemiker oft nehmen muss, um gewisse einfache Körper rein darzustellen, und man wird sich nicht verwundern dürfen, dass die ähnliche Aufgabe für das Licht nicht unter freiem Himmel, im Garten und mit einem einfachen Prisma in der Hand zu lösen ist[2]). Goethe muss seiner Theorie gemäss die Möglichkeit, reines farbiges Licht abzuscheiden, gänzlich in Abrede stellen. Ob er jemals mit Apparaten experimentirt hat, welche geeignet waren, diese Aufgabe zu lösen, bleibt zweifelhaft, da eben der versprochene supplementare Theil fehlt.

Um eine Anschauung von der Leidenschaftlichkeit zu geben, mit welcher der sonst so hofmännisch gemässigte Goethe gegen Newton polemisirt, citire ich aus wenigen Seiten des polemischen Theils der Farbenlehre folgende Ausdrücke, mit denen er die Sätze dieses grössten Denkers in dem Gebiete der Physik und der

---

[1]) Polemischer Theil. §. 47 u. 169.

[2]) Ich erlaube mir hier noch zu bemerken, dass ich die Unzerlegbarkeit und Unveränderlichkeit des einfachen farbigen Lichtes, diese beiden Grundlagen von Newton's Theorie, nicht bloss vom Hörensagen, sondern durch eigenen Augenschein kenne, indem ich in einer meiner eigenen Untersuchungen (Ueber D. Brewster's neue Analyse des Sonnenlichts in Poggendorff's Annalen Bd. 86, S. 501) gezwungen war, die Reinigung des farbigen Lichtes bis zur letzten erreichbaren Vollendung zu treiben.

Astronomie belegt: — „bis zum Unglaublichen unverschämt“ „barer Unsinn“ — „fratzenhafte Erklärungsart“ — „höchlich wundernswerth für die Schüler in der Laufbank.“ — „Aber sehe wohl, Lügen bedarf's und über die Maassen.“

Goethe bleibt auch in der Farbenlehre seiner oben erwä ten Ansicht getreu, dass die Natur ihre Geheimnisse von se darlegen müsse, dass sie die durchsichtige Darstellung ihres id len Inhalts sei. Er fordert daher für die Untersuchung phys lischer Gegenstände eine solche Anordnung der Beobachtun dass eine Thatsache immer die andere erkläre, damit man Einsicht in den Zusammenhang komme, ohne das Gebiet der s lichen Wahrnehmung zu verlassen. Diese Forderung hat ei sehr bestechenden Schein für sich, ist aber ihrem Wesen n grundfalsch. Denn eine Naturerscheinung ist physikalisch dann vollständig erklärt, wenn man sie bis auf die letzten ih Grunde liegenden und in ihr wirksamen Naturkräfte zurückgef hat. Da wir nun die Kräfte nie an sich, sondern nur ihre W kungen wahrnehmen können, so müssen wir in jeder Erklär von Naturerscheinungen das Gebiet der Sinnlichkeit verlassen zu unwahrnehmbaren, nur durch Begriffe bestimmten Dingen ü gehen. Wenn wir einen Ofen warm finden und dann bemer dass Feuer darin brennt, so sagen wir allerdings, vermöge e ungenauen Sprachgebrauches, dass durch die zweite Wahrnehm die erste erklärt werde. Im Grunde heisst das aber doch ni anderes als: Wir sind immer gewohnt, da, wo Feuer brennt, a Wärme zu finden, so auch dieses Mal im Ofen. Wir reihen unser Factum unter ein allgemeineres, bekannteres ein, beruhi uns dabei und nennen dies fälschlich eine Erklärung. Die Al meinheit dieser Beobachtung führt offenbar noch nicht die E sicht in die Ursachen mit sich; letztere ergiebt sich erst, w wir ermitteln können, welche Kräfte in dem Feuer wirksam s und wie die Wirkungen von ihnen abhängen.

Aber dieser Schritt in das Reich der Begriffe, welcher n wendig gemacht werden muss, wenn wir zu den Ursac der Naturerscheinungen aufsteigen wollen, schreckt den Dic zurück. In seinen Dichtwerken hat er deren geistigem Gehalt Einkleidung der unmittelbarsten sinnlichen Anschauung gege ohne alle begrifflichen Zwischenglieder. Je grösser hier die si liche Lebendigkeit der Anschauung war, desto grösser war Ruhm. Er möchte die Natur ebenso angegriffen sehen. Der P siker dagegen will ihn hinüberführen in eine Welt unsichtb

Atome, Bewegungen, anziehender und abstossender Kräfte, die, in zwar gesetzmässigem, aber kaum zu übersehendem Gewirre, durcheinander arbeiten. Ihm ist der sinnliche Eindruck keine unumstössliche Autorität; er untersucht die Berechtigung desselben, fragt, ob wirklich das ähnlich, was die Sinne für ähnlich, ob wirklich das verschieden, was sie für verschieden erklären, und kommt häufig zu einer verneinenden Antwort. Das Resultat dieser Prüfung, wie es jetzt vorliegt, ist, dass die Sinnesorgane uns zwar von äussern Einwirkungen benachrichtigen, dieselben aber in ganz veränderter Gestalt zum Bewusstsein bringen, so dass die Art und Weise der sinnlichen Wahrnehmung weniger von den Eigenthümlichkeiten des wahrgenommenen Gegenstandes abhängt, als von denen des Sinnesorganes, durch welches wir die Nachricht bekommen. Alles, was uns der Sehnerv berichtet, berichtet er unter dem Bilde einer Lichtempfindung, sei es nun die Strahlung der Sonne, oder ein Stoss auf das Auge, oder ein elektrischer Strom im Auge. Der Hörnerv verwandelt wiederum Alles in Schallphänomene, der Hautnerv in Temperatur- oder Tastempfindungen. Derselbe elektrische Strom, dessen Dasein der Sehnerv als einen Lichtschein, der Geschmacksnerv als Säure berichtet, erregt im Hautnerven das Gefühl des Brennens. Denselben Sonnenstrahl, den wir Licht nennen, wenn er in das Auge fällt, nennen wir Wärme, wenn er die Haut trifft. Objectiv dagegen ist das Tageslicht, welches in unsere Fenster eindringt, und die Wärmestrahlung eines eisernen Ofens nicht mehr und nicht anders von einander unterschieden, als es die rothen und blauen Bestandtheile des Lichtes unter sich sind. Wie sich die rothen von den blauen Strahlen, nach der Undulationstheorie, durch grössere Schwingungsdauer und geringere Brechbarkeit unterscheiden, so haben die dunklen Wärmestrahlen des Ofens eine grössere Schwingungsdauer und eine geringere Brechbarkeit als die rothen Lichtstrahlen, sind ihnen aber in jeder anderen Beziehung vollkommen ähnlich. Alle diese Strahlen, leuchtende und nicht leuchtende, wärmen, aber nur ein gewisser Theil derselben, den wir eben deshalb mit dem Namen Licht belegen, kann durch die durchsichtigen Theile unseres Auges bis zum Sehnerven dringen und Lichtempfindung erregen. Wir können das Verhältniss vielleicht am passendsten so bezeichnen: Die Sinnesempfindungen sind uns nur Symbole für die Gegenstände der Aussenwelt und entsprechen diesen etwa, wie der Schriftzug oder Wortlaut dem dadurch bezeichneten Dinge entspricht. Sie geben uns zwar Nachricht von den Eigenthümlichkeiten der Aussenwelt,

aber nicht bessere, als wir einem Blinden durch Wortbeschreibungen von der Farbe geben.

Wir sehen, dass die Wissenschaft zu einer ganz entgegengesetzten Schätzung der Sinnlichkeit gelangt ist, als sie der Dichter in sich trug, und zwar ist es Newton's Behauptung gewesen, Weiss sei aus allen Farben des Spectrum zusammengesetzt, welche den ersten Keim zu dieser erst später sich entwickelnden Ansicht ergab. Denn zu jener Zeit fehlten noch die galvanischen Beobachtungen, die den Weg zur Kenntniss eröffneten, welche Rolle die Eigenthümlichkeit der Sinnesnerven bei den Sinnesempfindungen spielt. Weiss, welches dem Auge als der einfachste, reinste aller Farbeneindrücke erscheint, sollte aus dem unreineren Mannigfaltigen zusammengesetzt sein. Hier scheint der Dichter mit schneller Vorahnung gefühlt zu haben, dass durch die Consequenzen dieses Satzes sein ganzes Princip in Frage komme, und deshalb erscheint ihm diese Annahme so undenkbar, so namenlos absurd. Seine Farbenlehre müssen wir als den Versuch betrachten, die unmittelbare Wahrheit des sinnlichen Eindrucks gegen die Angriffe der Wissenschaft zu retten. Daher der Eifer, mit dem er sie auszubilden und zu vertheidigen strebt, die leidenschaftliche Gereiztheit, mit der er die Gegner angreift, die überwiegende Wichtigkeit, welche er ihr vor allen seinen anderen Werken zuschreibt, und die Unmöglichkeit der Ueberzeugung und Versöhnung.

Wenden wir uns nun zu seinen eigenen theoretischen Vorstellungen, so ergiebt sich schon aus dem Vorigen, dass Goethe, ohne seinem Principe untreu zu werden, keine Erklärung der Erscheinungen geben kann, welche im physikalischen Sinne eine solche wäre. Und so finden wir es wirklich. Er geht davon aus, dass die Farben stets dunkler sind als das Weiss, dass sie etwas Schattiges haben (nach der physikalischen Theorie: weil Weiss, die Summe alles farbigen Lichtes, heller sein muss als jeder seiner einzelnen Theile). Directe Mischung von Licht und Dunkel, von Weiss und Schwarz giebt Grau; die Farben müssen also durch eine andere Art der Zusammenwirkung von Licht und Schatten entstanden sein. Diese glaubt Goethe in den Erscheinungen schwach getrüber Medien zu finden. Solche sehen in der Regel blau aus, wenn sie selbst vom Lichte getroffen vor einem dunklen Grunde gesehen werden, gelb dagegen, wenn man durch sie einen hellen Gegenstand sieht. So erscheint die Luft bei Tage vor dem dunklen Himmelsgrunde blau, und die Sonne, beim Untergange durch eine lange trübe Luftschicht gesehen, gelb oder gelbroth.

Die physikalische Erklärung dieses Phänomens, das sich jedoch nicht an allen trüben Körpern, z. B. nicht an mattgeschliffenen Glasplatten zeigt, würde uns hier zu weit von unserem Wege abführen. Durch das trübe Mittel soll nach Goethe dem Lichte etwas Körperliches, Schattiges gegeben werden, wie es zum Entstehen der Farbe nothwendig sei. Schon bei dieser Vorstellung geräth man in Verlegenheit, wenn man sie als eine physikalische Erklärung betrachten will. Sollen sich etwa körperliche Theile zu dem Lichte mischen und mit ihm davonfliegen? Auf dieses sein Urphänomen sucht Goethe alle übrigen Farbenerscheinungen zurückzuführen, namentlich die prismatischen. Er betrachtet alle durchsichtigen Körper als schwach trübe und nimmt an, dass das Prisma dem Bilde, welches es dem Beobachter zeigt, von seiner Trübung etwas mittheile. Hierbei ist es wieder schwer, sich etwas Bestimmtes zu denken. Goethe scheint gemeint zu haben, dass das Prisma nie ganz scharfe Bilder entwerfe, sondern undeutliche, verwaschene; denn in der Farbenlehre reiht er sie an die Nebenbilder an, welche parallele Glasplatten und Krystalle von Kalkspath zeigen. Verwaschen sind die Bilder des Prisma allerdings im zusammengesetzten Lichte, vollkommen scharf dagegen im einfachen. Betrachte man, meint er, durch das Prisma eine helle Fläche auf dunklem Grunde, so werde das Bild vom Prisma verschoben und getrübt. Der vorangehende Rand desselben werde über den dunklen Grund hinübergeschoben, und erscheine als helles Trübes vor dunklem Blau, der hinterher folgende Rand der hellen Fläche werde aber von dem vorgeschobenen trüben Bilde des danach folgenden schwarzen Grundes überdeckt und erscheine, als ein Helles hinter einem dunklen Trüben, gelbroth. Warum der vorgeschobene Rand vor dem Grunde, der nachbleibende hinter demselben erscheint, und nicht umgekehrt, erklärt er nicht. Man analysire aber diese Vorstellung weiter und mache sich den Begriff des optischen Bildes klar. Wenn ich einen hellen Gegenstand in einem Spiegel abgebildet sehe, so geschieht dies deshalb, weil das Licht, welches von jenem ausgeht, von dem Spiegel gerade so zurückgeworfen wird, als käme es von einem Gegenstande gleicher Art hinter dem Spiegel her, den das Auge des Beobachters demgemäss abbildet, und den der Beobachter deshalb wirklich zu sehen glaubt. Jedermann weiss, dass hinter dem Spiegel nichts Wirkliches dem Bilde entspricht, dass auch nicht einmal etwas von dem Lichte dort hindringt; sondern dass das Spiegelbild nichts ist als der geometrische Ort, in welchem die

gespiegelten Strahlen, rückwärts verlängert, sich schneiden. Deshalb erwartet auch Niemand, dass das Bild hinter dem Spiegel irgend eine reelle Wirkung ausüben solle. Ebenso zeigt uns das Prisma Bilder der gesehenen Gegenstände, welche eine andere Stelle als diese Gegenstände selbst haben. Das heisst: das Licht, welches der Gegenstand nach dem Prisma sendet, wird von diesem so gebrochen, als käme es von einem seitlich liegenden Gegenstande, dem Bilde, her. Dieses Bild ist nun wieder nichts Reelles, sondern es ist wiederum nur der geometrische Ort, in welchem sich, rückwärts verlängert, die Lichtstrahlen schneiden. Und doch soll nach Goethe dieses Bild durch seine Verschiebung reelle Wirkungen hervorbringen. Das verschobene Helle soll wie ein trüber Körper das dahinter scheinende Dunkle blau, das verschobene Dunkle das dahinter liegende Helle rothgelb erscheinen lassen. Goethe behandelt hier ganz eigentlich das Bild in seiner scheinbaren Oertlichkeit als Gegenstand. Dies zwingt ihn zu der Annahme, der blaue Rand des hellen Feldes liege örtlich vor, der rothe hinter dem mitverschobenen dunklen Bilde. Goethe bleibt hier dem sinnlichen Scheine getreu und behandelt einen geometrischen Ort als körperlichen Gegenstand. Ebenso wenig nimmt er daran Anstoss, Roth und Blau sich zuweilen gegenseitig zerstören zu lassen, z. B. in dem prismatischen blauen Rande eines rothen Feldes, in anderen Fällen dagegen daraus eine schöne Purpurfarbe zusammen zu setzen, wenn sich z. B. die blauen und rothen Ränder über einem schwarzen Felde begegnen. Noch wunderlicher sind die Wege, wie er sich aus den Verlegenheiten zieht, welche ihm Newton's zusammengesetztere Versuche bereiten. So lange man Goethe's Erklärungen als bildliche Versinnlichungen der Vorgänge gelten lässt, kann man ihnen beistimmen, ja sie haben oft etwas sehr Anschauliches und Bezeichnendes; als physikalische Erklärungen dagegen würden sie sinnlos sein.

Dass der theoretische Theil der Goethe'schen Farbenlehre keine Physik ist, wird hiernach Jedem einleuchten, und man kann auch einsehen, dass der Dichter eine ganz andere Betrachtungsweise, als die physikalische, in die Naturforschung einführen wollte, und wie er dazu kam. In der Dichtung kommt es ihm nur auf den „schönen Schein" an, der das Ideale zur Anschauung bringt; wie dieser Schein zu Stande komme, ist gleichgültig. Auch die Natur ist dem Dichter sinnbildlicher Ausdruck des Geistigen. Die Physik sucht dagegen die Hebel, Stricke und Rollen zu entdecken, welche, hinter den Coulissen arbeitend, diese regieren, und

der Anblick des Mechanismus zerstört freilich den schönen Schein. Deshalb möchte der Dichter gern die Stricke und Rollen hinwegleugnen, sie für die Ausgeburten pedantischer Köpfe erklären und die Sache so darstellen, als veränderten die Coulissen sich selbst, oder als würden sie durch die Idee des Kunstwerkes regiert. Auch liegt es in Goethe's ganzer Richtung, dass gerade er unter allen Dichtern gegen die Physik polemisch auftreten musste. Andere Dichter, je nach der Eigenthümlichkeit ihres Talentes, achten entweder in der leidenschaftlichen Macht ihrer Begeisterung nicht auf das störende Materielle, oder sie erfreuen sich daran, wie auch durch die widerstrebende Materie der Geist sich Wege bahnt. Goethe, nie durch eine subjective Erregung über die umgebende Wirklichkeit geblendet, kann nur da behaglich verweilen, wo er die Wirklichkeit selbst vollständig poetisch gestempelt hat. Darin liegt die eigenthümliche Schönheit seiner Dichtungen, und darin liegt auch gleichzeitig der Grund, warum er gegen den Mechanismus, der ihn jeden Augenblick in seinem poetischen Behagen zu stören droht, kämpfend auftritt und den Feind in seinem eigenen Lager anzugreifen sucht.

Wir können aber den Mechanismus der Materie nicht dadurch besiegen, dass wir ihn wegleugnen, sondern nur dadurch, dass wir ihn den Zwecken des sittlichen Geistes unterwerfen. Wir müssen seine Hebel und Stricke kennen lernen — wenn es auch die dichterische Naturbetrachtung stören sollte — um sie nach unserem eigenen Willen regieren zu können; darin liegt die grosse Bedeutung der physikalischen Forschung für die Cultur des Menschengeschlechtes und ihre volle Berechtigung gegründet.

Aus dem Dargestellten wird es klar sein, dass Goethe allerdings in seinen verschiedenen naturwissenschaftlichen Arbeiten die gleiche Richtung geistiger Thätigkeit verfolgt hat, dass aber die Aufgaben sehr entgegengesetzter Art waren. Dieselbe Eigenthümlichkeit, welche ihn auf dem einen Felde zu glänzendem Ruhme emportrug, bedingte sein Scheitern auf dem anderen. In dieser Einsicht wird mancher Verehrer des grossen Dichters vielleicht geneigter werden, den Verdacht, den er gegen die Physiker hegt, schwinden zu lassen, als habe ihr verstockter Zunftstolz sie für die Inspirationen des Genius blind gemacht.

Nachschrift.

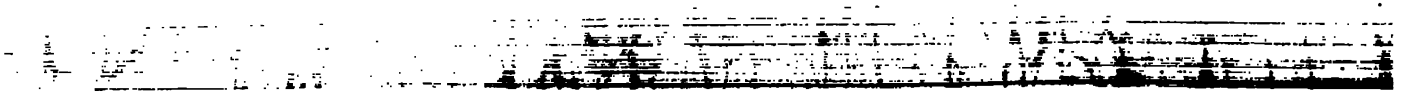
(1875)

Hier ist zu constatiren, dass in dem seit der ersten Abfassung dieses Aufsatzes verflossenen Vierteljahrhundert die Gedankenkeime, welche Goethe im Gebiete der Naturwissenschaften ausgesäet hat, zu voller und zum Theil reicher Entwickelung gelangt sind. Unverkennbar stützt sich Darwin's Theorie von der Umbildung der organischen Formen vorzugsweise auf dieselben Analogien und Homologien im Baue der Thiere und Pflanzen, welche der Dichter, als der erste Entdecker, zunächst nur in der Form ahnender Anschauung, seinen ungläubigen Zeitgenossen darzulegen versucht hatte. Darwin's Verdienst ist es, dass er mit grossem Scharfsinne und aufmerksamer Beobachtung den ursächlichen Zusammenhang, dessen Wirkungen diese Uebereinstimmungen in dem Typus der verschiedenartigsten Organismen sind, oder doch sein könnten, aufgespürt, und so die dichterische Ahnung zur Reife des klaren Begriffes entwickelt hat. Ich brauche nicht hervorzuheben, welche Umwälzung in der ganzen Auffassung der Lebenserscheinungen diese Erkenntnisse hervorgerufen haben.

Aber auch den Ideen, welche sich Goethe gebildet hatte über die Wege, die die Naturforschung einschlagen, und die Ziele denen sie nachstreben müsse, ist man in naturwissenschaftlichen Kreisen unverkennbar näher gekommen.

In dieser Beziehung möchte ich hinweisen auf meine Rede zum Gedächtniss von Gustav Magnus. Was Goethe suchte war das Gesetzliche in den Phänomenen; das war ihm die Hauptsache, welche er sich nicht durch metaphysische Gedankengebilde verwirren lassen wollte. Wenn die Naturforscher ihrerseits nur dazu gelangen, die Kraft aufzufassen als das Gesetz, das von aller Zufälligkeit der Erscheinung gereinigt, und, in seiner Herrschaft über die Wirklichkeit, als objectiv gültig anerkannt ist, so besteht

über die letzten Ziele wohl kaum noch eine erhebliche Divergenz der Meinungen. Den entschiedensten Ausdruck hat diese Auffassung in Kirchhoff's Vorlesungen über mathematische Physik empfangen, wo er die Mechanik geradezu unter die beschreibenden Naturwissenschaften einreiht. Goethe's Versuch, seine Anschauungen an dem Beispiel der Farbenlehre praktisch durchzuführen, können wir freilich nicht als gelungen betrachten, aber das Gewicht, was er selbst auf diese Richtung seiner Arbeiten legte, wird verständlich. Er sah auch da ein hohes Ziel vor sich, zu dem er uns führen wollte; sein Versuch, einen Anfang des Weges zu entdecken, war jedoch nicht glücklich und leitete ihn leider in unentwirrbares Gestrüpp.



Ueber die Wechselwirkung der Naturkräfte und die darauf bezüglichen neuesten Ermittelungen der Physik

Vortrag gehalten zu Königsberg

1854

Die Physik hat in neuester Zeit eine Errungenschaft von sehr allgemeinem Interesse gemacht, von der ich mich bemühen will, im Folgenden eine Vorstellung zu geben. Es handelt sich dabei um ein neues allgemeines Naturgesetz, welches das Wirken sämmtlicher Naturkräfte in ihren gegenseitigen Beziehungen zu einander beherrscht, und das eine ebenso grosse Bedeutung für unsere theoretischen Vorstellungen von den Naturprozessen hat, als es für die technische Anwendung derselben von Wichtigkeit ist.

Als von der Grenzscheide des Mittelalters und der neueren Zeit ab die Naturwissenschaften ihre schnelle Entwicklung begannen, machte unter den praktischen Künsten, welche sich daran anschliessen, auch die der technischen Mechanik, unterstützt durch die gleichnamige mathematische Wissenschaft, rüstige Fortschritte. Der Charakter der genannten Kunst war aber natürlich in jenen Zeiten von dem heutigen sehr verschieden. Ueberrascht und berauscht von ihren eigenen Erfolgen, verzweifelte sie in jugendlichem Uebermuthe nicht an der Lösung aller Probleme, und machte sich zum Theil sogleich an die schwersten und verwickeltsten Aufgaben. So versuchte man denn auch sehr bald und mit vielem Eifer, lebende Menschen und Thiere in der Form sogenannter Automaten nachzubauen. Das Staunen des vorigen Jahrhunderts waren Vaucanson's Ente, welche frass und verdaute, desselben Meisters Flötenspieler, der alle Finger richtig bewegte, der schreibende Knabe des älteren und die Klavierspielerin des jüngeren Droz, welche letztere beim Spiele ihren Händen auch gleichzeitig mit den Augen folgte, und nach beendeter Kunstleistung aufstand, um der Gesellschaft eine höfliche Verbeugung zu machen. Es würde unbegreiflich sein, dass Männer, wie die genannten, deren Talent sich mit den erfindungsreichsten Köpfen unseres Jahrhunderts messen kann, so viel Zeit und Mühe, und diesen Aufwand von Scharfsinn an die Ausführung solcher Automaten gewendet hätten,

die uns nur als eine äusserst kindliche Spielerei ersch
wenn sie nicht gehofft hätten, dieselbe Aufgabe auch in
lichem Ernste lösen zu können. Der schreibende Knab
älteren Droz wurde noch vor einigen Jahren in De
land öffentlich gezeigt. Sein Räderwerk ist so verwickelt
schon ein nicht ganz gemeiner Kopf dazu gehörte, um
nur dessen Wirkungsweise zu enträthseln. Wenn uns ab
zählt wird, dass dieser Knabe und sein Erbauer, der schv
Kunst verdächtig, eine Zeitlang in den Kerkern der span
Inquisition geschmachtet und nur mit Mühe ihre Losspre
erlangt haben sollen, so geht daraus hervor, dass die Men
ähnlichkeit dieser Spielwerke in jenen Zeiten gross genu
schien, um sogar ihren natürlichen Ursprung verdächt
machen. Und wenn auch jene Mechaniker vielleicht nic
Hoffnung hegten, den Geschöpfen ihres Scharfsinns eine
mit moralischen Vollkommenheiten einblasen zu können, so v
sie doch, wie mancher Andere, die moralischen Vollkommen
ihrer Diener gern entbehrt haben, wenn dabei deren mor
Unvollkommenheiten beseitigt wurden, und ausserdem die
mässigkeit einer Maschine, mit der Dauerhaftigkeit von M
und Stahl an Stelle der Vergänglichkeit von Fleisch und
hätte gewonnen werden können. Das Ziel also, welches sich
finderischen Köpfe der vergangenen Jahrhunderte, zweifell
vollem Ernste und nicht etwa als einen hübschen Tand, vorste
war kühn gewählt, und es wurde mit einem Aufwand von Sch
verfolgt, der nicht wenig zur Bereicherung der mechan
Mittel beigetragen hat, mit deren Hülfe die spätere Zeit einen
bringenderen Weg zu verfolgen verstand. Jetzt suchen wir
mehr solche Maschinen zu bauen, welche die tausend verschie
Dienstleistungen eines Menschen vollziehen, sondern wi
langen im Gegentheil, dass eine Maschine nur eine Dienstlei
diese aber an Stelle von tausend Menschen, verrichte.

Aus diesem Streben, lebende Geschöpfe nachzum
scheint sich zunächst — auch wieder durch ein Missver
niss — eine andere Idee entwickelt zu haben, welche glei
der neue Stein der Weisen des siebzehnten und achtze
Jahrhunderts wurde: es handelte sich darum, ein Perp
mobile herzustellen. Darunter verstand man eine Mas
welche, ohne dass man sie aufzöge, und ohne dass man, u
zu treiben, fallendes Wasser, Wind oder andere Naturkräf
wendete, von selbst fortdauernd in Bewegung bleiben un

ihre Triebkraft unaufhörlich aus sich selbst erzeugen sollte. Thiere und Menschen schienen im Wesentlichen der Idee eines solchen Apparates zu entsprechen, denn sie bewegten sich kräftig und anhaltend, so lange sie lebten; niemand zog sie auf oder stiess sie an. Einen Zusammenhang zwischen Nahrungsaufnahme und Kraftentwickelung wusste man sich nicht zurecht zu legen. Die Nahrung schien nur nöthig, um gleichsam die Räder der thierischen Maschine zu schmieren, das Abgenutzte zu ersetzen, das Altgewordene zu erneuern. Krafterzeugung aus sich selbst schien die wesentlichste Eigenthümlichkeit, die rechte Quintessenz des organischen Lebens zu sein. Wollte man also Menschen nachmachen, so musste zuerst das Perpetuum mobile gefunden werden.

Daneben scheint eine andere Hoffnung in den Köpfen der Menschen die zweite Stelle eingenommen zu haben, welche in unserem klügeren Zeitalter jedenfalls den ersten Rang beanspruchen würde. Das Perpetuum mobile sollte nämlich unerschöpfliche Arbeitskraft ohne entsprechenden Verbrauch, also aus Nichts, erschaffen. Arbeit aber ist Geld. Hier winkte also die goldene Lösung der grossen praktischen Aufgabe, welcher die schlauen Leute aller Jahrhunderte auf den verschiedensten Wegen nachgegangen sind, nämlich: Geld aus Nichts zu machen. Die Aehnlichkeit mit dem Steine der Weisen, den die alten Alchimisten suchten, war vollständig; auch jener sollte die Quintessenz des organischen Lebens enthalten, und sollte fähig sein, Gold zu machen.

Der Sporn, der zum Suchen antrieb, war scharf, und das Talent derjenigen, welche suchten, ist zum Theil nicht gering anzuschlagen. Die Art der Aufgabe war ganz geeignet, grüblerische Köpfe gefangen zu nehmen, sie Jahre lang im Kreise herum zu führen, durch die scheinbar näher rückende Hoffnung immer wieder zu täuschen, und sie endlich bis zum Wahnsinn zu verwirren. Das Phantom wollte sich nicht greifen lassen. Es würde unmöglich sein, eine Geschichte dieser Bestrebungen zu entwerfen, weil die besseren Köpfe, unter denen auch der ältere Droz genannt wird, sich selbst von der Erfolglosigkeit ihrer Versuche überzeugen mussten und natürlich nur wenig geneigt sein mochten, viel davon zu sprechen. Verwirrtere Köpfe aber verkündeten oft genug, der grosse Fund sei ihnen gelungen; da sich jedoch die Unrichtigkeit ihres Vorgebens immer bald erwies, so kam die Sache in Verruf. Es befestigte sich allmählich die Meinung, die Aufgabe sei nicht zu lösen; auch bezwang die mathematische Mechanik eines der hierher gehörigen Probleme nach dem anderen,

und gelangte endlich dahin, streng und allgemein nachzuweisen, dass wenigstens durch Benutzung rein mechanischer Kräfte ein Perpetuum mobile nicht erzeugt werden könne.

Wir sind hier auf den Begriff der Triebkraft oder Arbeitskraft von Maschinen gekommen und werden damit auch weiter sehr viel zu thun haben. Ich muss deshalb eine Erklärung davon geben. Der Begriff der Arbeit ist auf Maschinen offenbar übertragen worden, indem man ihre Verrichtungen mit denen der Menschen und Thiere verglich, zu deren Ersatz sie bestimmt waren. Noch heute berechnet man die Arbeit der Dampfmaschinen nach Pferdekräften. Der Werth der menschlichen Arbeit bestimmt sich zum Theil nach dem Kraftaufwande, der mit ihr verbunden ist (ein stärkerer Arbeiter hat höheren Werth), zum Theil nach der Geschicklichkeit, welche erfordert wird. Geschickte Arbeiter sind nicht augenblicklich in beliebiger Menge zu schaffen; sie müssen Talent und Unterricht haben, ihre Ausbildung erfordert Zeit und Mühe. Eine Maschine dagegen, die irgend eine Arbeit gut ausführt, kann zu jeder Zeit in beliebig vielen Exemplaren hergestellt werden; deshalb hat ihre Geschicklichkeit nicht den überwiegenden Werth, den menschliche Geschicklichkeit in solchen Feldern hat, wo sie durch Maschinen nicht ersetzt werden kann. Man hat deshalb den Begriff der Arbeitsgrösse bei Maschinen eingeschränkt auf die Betrachtung des Kraftaufwandes; dies war um so wichtiger, als in der That die meisten Maschinen dazu bestimmt sind, gerade durch die Gewalt ihrer Wirkungen, Menschen und Thiere zu übertreffen. Deshalb ist im mechanischen Sinne der Begriff der Arbeit gleich dem des Kraftaufwandes geworden, und ich werde ihn auch im Folgenden nur so anwenden.

Wie kann dieser Kraftaufwand nun gemessen und bei verschiedenen Maschinen mit einander verglichen werden?

Ich muss Sie hier ein Stückchen Weges — es soll so kurz als möglich werden — durch das wenig anmuthige Feld mathematisch-mechanischer Begriffe hinführen, um Sie nach einem Standpunkte zu bringen, von wo sich eine lohnendere Aussicht eröffnen wird; und wenn das Beispiel, welches ich zu Grunde lege, eine Wassermühle mit Eisenhammer, noch leidlich romantisch aussieht, so muss ich leider das dunkle Waldthal, den schäumenden Bach, die funkensprühende Esse und die schwarzen Cyclopengestalten unberücksichtigt lassen und einen Augenblick um Aufmerksamkeit für die weniger poetischen Seiten des Maschinenwerkes bitten. Dieses wird durch ein Wasserrad ge-

trieben, welches die herabstürzenden Wassermassen in Bewegung setzen. Die Axe des Wasserrades hat an einzelnen Stellen kleine Vorsprünge, Daumen, welche während der Umdrehung die Stiele der schweren Hämmer fassen, um sie zu heben und dann wieder fallen zu lassen. Der fallende Hammer bearbeitet die Metallmasse, welche ihm untergeschoben wird. Die Arbeit, welche die Maschine verrichtet, besteht hier also darin, dass sie die Masse des Hammers hebt, zu welchem Ende sie die Schwere dieser Masse überwinden muss. Ihr Kraftaufwand wird also zunächst, unter übrigens gleichen Umständen, dem Gewichte des Hammers proportional sein, wird also z. B. verdoppelt werden müssen, wenn jenes Gewicht verdoppelt wird. Aber die Leistung des Hammers hängt nicht bloss von seinem Gewichte, sondern auch von der Höhe ab, aus der er fällt. Wenn er zwei Fuss herabfällt, wird er eine grössere Wirkung thun, als wenn er nur einen Fuss fällt. Nun ist aber klar, dass, wenn die Maschine mit einem gewissen Kraftaufwande den Hammer um einen Fuss gehoben hat, sie denselben Kraftaufwand noch einmal wird anwenden müssen, um ihn noch einen zweiten Fuss zu heben. Die Arbeit wird also nicht nur verdoppelt, wenn das Gewicht des Hammers verdoppelt wird, sondern auch, wenn die Fallhöhe verdoppelt wird. Daraus ist leicht ersichtlich, dass wir die Arbeit zu messen haben durch das Product des gehobenen Gewichtes, multiplicirt mit der Fallhöhe. Und so misst die Mechanik in der That; sie nennt ihr Maass der Arbeit ein Fusspfund, d. h. ein Pfund Gewicht, gehoben um einen Fuss.

Während nun die Arbeit unseres Eisenhammers darin besteht, dass er die schweren Hammerköpfe in die Höhe hebt, wird die Triebkraft, welche ihn in Bewegung setzt, dadurch erzeugt, dass Wassermassen herunterfallen. Das Wasser braucht allerdings nicht immer senkrecht herabzufallen, es kann auch in einem mässig geneigten Bette herabfliessen, aber wo es Wassermühlen treiben soll, muss es sich doch immer von einem höheren Orte zu einem tieferen begeben. Erfahrung und Theorie lehren nun übereinstimmend, dass, wenn ein Hammer von einem Centner Gewicht um einen Fuss gehoben werden soll, dazu mindestens ein Centner Wasser um einen Fuss fallen muss, oder, was dem äquivalent ist, zwei Centner um einen halben Fuss, oder vier Centner um einen viertel Fuss u. s. w. Kurz, wenn wir das Gewicht der fallenden Wassermasse ebenso mit der Höhe des Falls multipliciren und als Maass ihrer Arbeit betrachten, wie wir es bei dem Hammer gemacht haben, so kann die Arbeit, welche die

Maschine durch Hebung eines Hammers leistet, ausgedrückt in Fusspfunden, im günstigsten Falle nur ebenso gross sein, wie die Zahl der Fusspfunde des in derselben Zeit stürzenden Wassers. In Wirklichkeit wird sogar das Verhältniss gar nicht erreicht, sondern es geht ein grosser Theil der Arbeit des stürzenden Wassers ungenutzt verloren, weil man gern von der Kraft etwas opfert, um eine grössere Schnelligkeit zu erzielen.

Ich bemerke noch, dass dieses Verhältniss ungeändert bleibt, ob man nun die Hämmer unmittelbar von der Welle des Wasserrades treiben lässt, oder ob man die Bewegung des Rades durch zwischengeschobene gezahnte Räder, unendliche Schrauben, Rollen und Seile auf die Hämmer übertragen lässt. Man kann durch solche Mittel allerdings bewirken, dass das Wasserwerk, welches bei der ersten einfachen Einrichtung nur einen Hammer von einem Centner Gewicht heben konnte, in den Stand gesetzt wird, einen solchen von 10 Centnern zu heben. Aber, entweder wird es diesen schwereren Hammer nur auf den zehnten Theil der Höhe heben, oder es wird zehnmal so viel Zeit dazu gebrauchen, so dass es schliesslich, wie sehr wir auch durch Maschinenwerk die Intensität der wirkenden Kraft abändern mögen, doch in einer bestimmten Zeit, während welcher uns der Bach eine bestimmte Wassermasse liefert, immer nur eine bestimmte Arbeit leisten kann.

Unser Maschinenwerk hat also zunächst weiter nichts gethan, als die Schwerkraft fallenden Wassers benutzt, um die Schwerkraft seiner Hämmer zu überwinden und diese zu heben. Wenn es einen Hammer so weit als möglich gehoben hat, lässt es ihn wieder los; er stürzt auf die Metallmassen herab, die ihm untergeschoben sind, und bearbeitet diese. Warum übt nun der stürzende Hammer eine grössere Gewalt aus, als der ruhende Hammer, den man einfach durch sein Gewicht auf die Metallmasse, welche er bearbeiten soll, drücken lässt? Warum ist seine Gewalt desto grösser, je grösser die Höhe, von der er fällt, je grösser daher seine Fallgeschwindigkeit ist? Wir finden hier, dass die Arbeitsgrösse des Hammers durch seine Geschwindigkeit bedingt ist. Auch bei anderen Gelegenheiten ist die Geschwindigkeit bewegter Massen ein Mittel, um grosse Wirkungen hervorzubringen. Ich erinnere an die zerstörenden Wirkungen abgeschossener Büchsenkugeln, welche in ruhendem Zustande die unschuldigsten Dinge der Welt sind; ich erinnere an die Windmühlen, welche ihre Triebkraft der bewegten Luft entnehmen. Es mag uns überraschen, dass die Be-

wegung, die uns als eine so unwesentliche und vergängliche Beigabe der materiellen Körper erscheint, so mächtige Wirkungen auszuüben im Stande ist. Aber in der That ist sie in gewöhnlichen Verhältnissen nur deshalb so vergänglich, weil der Bewegung aller irdischen Körper fortdauernd widerstehende Kräfte (Reibung, Luftwiderstand u. s. w.) entgegenwirken, so dass sie fortdauernd geschwächt und endlich aufgehoben wird. Ein Körper aber, dem sich keine widerstehenden Kräfte entgegensetzen, wenn er einmal in Bewegung befindlich ist, bewegt sich fort mit unverminderter Geschwindigkeit in alle Ewigkeit. So wissen wir, dass die Planeten den freien Weltraum seit Jahrtausenden in unveränderter Weise durcheilen. Nur durch widerstehende Kräfte kann Bewegung verlangsamt und vernichtet werden. Ein bewegter Körper, wie der schlagende Hammer oder die abgeschossene Kugel, wenn er gegen einen anderen stösst, presst diesen zusammen oder dringt in ihn ein, bis die Summe der Widerstandskräfte, welche der getroffene Körper seiner Compression oder der Trennung seiner Theilchen entgegensetzt, gross genug geworden ist, um die Bewegung des Hammers oder der Kugel zu vernichten. Man nennt die Bewegung einer Masse, insofern sie Arbeitskraft vertritt, die lebendige Kraft der Masse. Das Wort lebendig bezieht sich hier natürlich in keiner Weise auf lebende Wesen, sondern soll die Kraft der Bewegung nur unterscheiden von dem ruhigen Zustande unveränderten Bestehens, in dem sich z. B. die Schwerkraft eines ruhenden Körpers befindet, welche zwar einen fortdauernden Druck gegen seine Unterlage unterhält, aber keine Veränderung hervorbringt.

In unserem Eisenhammer hatten wir also Arbeitskraft, zuerst in Form einer fallenden Wassermasse, dann in Form eines gehobenen Hammers, drittens in Form der lebendigen Kraft des gefallenen Hammers. Wir würden nun die dritte Form in die zweite zurückverwandeln können, wenn wir z. B. den Hammer auf einen höchst elastischen Stahlbalken fallen liessen, der stark genug wäre, ihm zu widerstehen. Der Hammer würde zurückspringen, und zwar im günstigsten Falle so hoch zurückspringen können, als er herabgefallen ist, aber niemals höher. Dabei würde seine Masse also wieder emporsteigen, und uns in dem Augenblicke, wo sie ihren höchsten Punkt erreicht hat, wieder dieselbe Menge gehobener Fusspfunde darstellen können, wie vor dem Falle, niemals aber eine grössere; das heisst also: lebendige Kraft kann eine ebenso grosse Menge Arbeit wieder erzeugen, wie die war,

aus der sie entstanden. Sie ist also dieser Arbeitsgrösse valent.

Unsere Wanduhren treiben wir durch sinkende Gev die Taschenuhren durch gespannte Federn. Ein Gewicht, welcl Boden liegt, eine elastische Feder, welche erschlafft ist, kann Wirkungen hervorbringen; wir müssen, um solche zu erhalte Gewicht erst heben, die Feder erst spannen. Das geschieht Aufziehen der Uhr. Der Mensch, welcher die Uhr aufzieht, ihrem Gewichte oder ihrer Feder ein Gewisses an Arbeitskra genau so viel, als ihr mitgetheilt ist, giebt sie in den nä 24 Stunden allmählich wieder aus, indem sie es langsam verbr um die Reibung der Räder, den Luftwiderstand des Pend überwinden. Das Räderwerk der Uhr bringt also keine A kraft hervor, die ihm nicht mitgetheilt wäre, sondern es ve nur die mitgetheilte Kraft gleichmässig auf eine längere Z

In den Kolben einer Windbüchse treiben wir mittelst Luftverdichtungspumpe eine grosse Menge Luft ein. Wer nachher den Hahn des Kolbens öffnen und in den Lau Büchse die verdichtete Luft eintreten lassen, so treibt die eingeführte Kugel mit ähnlicher Gewalt, wie entzündetes I heraus. Wir können nun die Arbeit bestimmen, welche wi Einpumpen der Luft aufgewendet haben, ebenso die leb Kraft, welche beim Abschiessen der Kugel mitgetheilt ist wir werden letztere nie grösser finden als erstere. Die c mirte Luft hat keine Arbeitskraft erzeugt, sondern nur d mitgetheilte an die abgeschossene Kugel abgegeben. Und wä wir vielleicht eine Viertelstunde gepumpt haben, um die I zu laden, ist die Kraft in den wenigen Secunden des Abschi verbraucht worden; sie hat aber, weil ihre Thätigkeit auf so Zeit zusammengedrängt war, der Kugel auch eine viel gr Geschwindigkeit mitgetheilt, als unser Arm durch eine ei kurze Wurfbewegung es gekonnt hätte.

Aus diesen Beispielen sehen Sie — und die mathema Theorie hat es für alle Wirkungen rein mechanischer, d. h. Bewegungskräfte, bestätigt — dass alle unsere Maschine Apparate keine Triebkraft erzeugen, sondern dass sie n Arbeitskraft, welche ihnen allgemeine Naturkräfte, fal Wasser und bewegter Wind, oder die Muskelkraft von Me oder Thieren mitgetheilt haben, in anderer Form wieder aus Nachdem dieses Gesetz durch die grossen Mathematike origen Jahrhunderts allgemein festgestellt war, konnte ei

petuum mobile, welches nur rein mechanische Kräfte — als da sind Schwere, Elasticität, Druck der Flüssigkeiten und Gase — benutzen wollte, nur noch von verwirrten und schlecht unterrichteten Köpfen gesucht werden. Aber es giebt allerdings noch ein weites Gebiet von Naturkräften, welche nicht zu den reinen Bewegungskräften gerechnet werden — Wärme, Elektricität, Magnetismus, Licht, chemische Verwandtschaftskräfte — und welche doch alle in den mannigfaltigsten Beziehungen zu den mechanischen Vorgängen stehen. Es giebt kaum einen Naturprozess irgend welcher Art, bei dem nicht mechanische Wirkungen mit vorkämen, und durch den nicht mechanische Arbeit gewonnen werden könnte. Hier war also die Frage nach einem Perpetuum mobile noch offen, und gerade in der Entscheidung dieser Frage liegt der Fortschritt der neueren Physik, über den ich zu berichten versprochen habe.

Bei der Windbüchse hatte der menschliche Arm, indem er die Luft einpumpte, die Arbeit hergegeben, welche beim Losschiessen zu leisten war. In gewöhnlichen Feuergewehren entsteht dagegen die verdichtete Gasmasse, welche die Kugel austreibt, auf einem ganz anderen Wege, nämlich durch Verbrennung des Pulvers. Schiesspulver verwandelt sich bei seiner Verbrennung grösstentheils in luftartige Verbrennungsproducte, welche einen viel grösseren Raum einzunehmen streben, als das Volumen des Pulvers vorher betrug. Sie sehen also, dass das Schiesspulver uns die Arbeit erspart, welche der menschliche Arm bei der Windbüchse ausführen musste.

Auch in den mächtigsten unserer Maschinen, den Dampfmaschinen, sind es stark comprimirte luftförmige Körper, die Wasserdämpfe, welche durch ihr Bestreben sich auszudehnen, die Maschine in Bewegung setzen. Auch hier verdichten wir die Dämpfe nicht durch eine äussere mechanische Kraft, sondern wir leiten Wärme zu einer Wassermasse in einem verschlossenen Kessel und verwandeln dadurch dieses Wasser in Dampf, der wegen des engen Raumes sogleich unter starker Pressung entsteht. Es ist also die zugeleitete Wärme, welche hier mechanische Kraft erzeugt. Diese zur Heizung der Maschine nöthige Wärme würden wir nun auf mancherlei Weise gewinnen können; die gewöhnliche Methode ist, sie durch Verbrennung von Kohle zu erhalten.

Die Verbrennung ist ein chemischer Prozess. Ein besonderer Bestandtheil unserer Atmosphäre, das Sauerstoffgas, besitzt zu den Bestandtheilen der brennbaren Körper eine mächtige Anziehungskraft, oder wie es die Chemie nennt, eine starke Verwandtschaft,

welche aber meist erst bei höherer Temperatur in Wirksamkeit treten kann. Sobald ein Theil des brennbaren Körpers, z. B. der Kohle, hinreichend erhitzt wird, vereinigt sich der Kohlenstoff mit grosser Heftigkeit mit dem Sauerstoff der Atmosphäre zu Kohlensäure, einer eigenthümlichen Gasart, welche auch aus schäumendem Bier und Champagner entweicht. Bei dieser Verbindung entsteht Wärme und Licht; wie denn überhaupt bei jeder chemischen Vereinigung zweier Körper von starker Verwandtschaft Wärme und, wenn die Wärme bis zum Glühen geht, Licht entsteht. Schliesslich sind es also chemische Prozesse und chemische Kräfte, welche die staunenswerthen Arbeitsgrössen der Dampfmaschinen liefern. Ebenso ist die Verbrennung des Schiesspulvers ein chemischer Prozess, der der Kugel im Feuergewehre ihre lebendige Kraft giebt.

Während nun die Dampfmaschine aus Wärme mechanische Arbeit entwickelt, können wir durch mechanische Kräfte auch Wärme erzeugen. Jeder Stoss, jede Reibung thut dies. Ein geschickter Schmied kann einen eisernen Keil durch blosses Hämmern glühend machen; die Axen unserer Wagenräder müssen durch sorgfältiges Schmieren vor der Entzündung durch Reibung geschützt werden. Neuerdings hat man dies in grösserem Maassstabe benutzt. Man verwendete die überflüssige Wasserkraft einiger Fabriken dazu, um zwei grosse eiserne Platten, deren eine schnell um ihre Axe lief, auf einander reiben zu lassen, so dass beide sich stark erhitzten. Die gewonnene Wärme heizte das Zimmer, und man hatte einen Ofen ohne Brennmaterial. Könnte nun nicht die von den Platten erzeugte Wärme hinreichen, um eine kleine Dampfmaschine zu heizen, welche wiederum im Stande wäre, die Platten in Bewegung zu halten? Damit wäre ja das Perpetuum mobile gefunden. Diese Frage konnte gestellt werden, und sie war durch die älteren mathematisch-mechanischen Untersuchungen nicht zu entscheiden. Ich bemerke zum Voraus, dass das allgemeine Gesetz, welches ich Ihnen darlegen will, sie mit Nein beantworten wird.

Durch einen ähnlichen Plan setzte vor nicht langer Zeit ein speculativer Amerikaner die industrielle Welt Europas in Aufregung. Dem Publicum sind die magnetelektrischen Maschinen mehrfach als Mittel zur Behandlung der rheumatischen Krankheiten und Lähmungen bekannt geworden. Indem man den Magneten einer solchen Maschine in schnelle Umdrehung versetzt, erhält man kräftige Ströme von Elektricität. Leitet man diese durch Wasser, so zersetzen sie das Wasser in seine beiden Bestandtheile,

Wasserstoffgas und Sauerstoffgas. Durch Verbrennung des Wasserstoffs entsteht wieder Wasser. Geschieht diese Verbrennung nicht in atmosphärischer Luft, von der das Sauerstoffgas nur den fünften Theil ausmacht, sondern in reinem Sauerstoffgase, und bringt man in die Flamme ein Stückchen Kreide, so wird dieses weissglühend und giebt das sonnenähnliche Drummond'sche Kalklicht. Gleichzeitig entwickelt die Flamme eine sehr bedeutende Wärmemenge. Unser Amerikaner wollte nun die Gasarten, die durch elektrische Zersetzung des Wassers gewonnen waren, in dieser Weise verwerthen und behauptete, bei ihrer Verbrennung hinreichende Wärme erhalten zu haben, um eine kleine Dampfmaschine damit zu heizen, welche ihm wiederum seine magnetelektrische Maschine treibe, das Wasser zersetze und sich so ihr eigenes Brennmaterial fortdauernd selbst bereite. Dies wäre allerdings die herrlichste Erfindung von der Welt gewesen, ein Perpetuum mobile, welches neben der Triebkraft sonnenähnliches Licht erzeugen und auch noch Zimmer erwärmen konnte. Ausgesonnen war die Sache nicht übel. Jeder einzelne Schritt in dem angegebenen Verfahren war als möglich bekannt; wer aber damals mit den physikalischen Arbeiten, die sich auf unser heutiges Thema beziehen, schon vertraut war, konnte gleich bei den ersten Berichten behaupten, die Sache gehöre in die Zahl der vielen Märchen des fabelreichen Amerika; und in der That blieb sie ein Märchen.

Es ist unnöthig, noch mehr Beispiele zu häufen, da aus den gegebenen schon zu entnehmen ist, in wie enger Verbindung Wärme, Elektricität, Magnetismus, Licht, chemische Verwandtschaften mit den mechanischen Kräften stehen.

Von jeder einzelnen dieser Erscheinungsweisen der Naturkräfte ausgehend, kann man jede andere in Bewegung setzen, meistens auf mannigfach verschiedenen Wegen. Es ist damit wie mit dem Webermeisterstück:

> Wo ein Tritt tausend Fäden regt,
> Die Schifflein herüber, hinüber schiessen,
> Die Fäden ungesehen fliessen,
> Ein Schlag tausend Verbindungen schlägt.

Nun ist es klar, wenn man in dem Sinne jenes Amerikaners auf irgend eine Weise durch mechanische Kräfte chemische, elektrische oder andere Naturprozesse hervorrufen könnte, welche im Stande wären, auf irgend einem Umwege, aber ohne die in der Maschine thätigen Massen bleibend zu verändern, wieder mechanische Kräfte, und zwar in grösserer Menge, als die

zuerst benutzten, zu erzeugen, dass man dann einen Theil der gewonnenen Kraft anwenden könnte, um die Maschine in Gang zu halten, und den Rest der Arbeit zu beliebigen anderen Zwecken zu verwerthen. Es kam nur darauf an, in dem verwickelten Netze von Wechselwirkungen der Naturkräfte von mechanischen Prozessen ausgehend, durch chemische, elektrische, magnetische, thermische Prozesse wieder zu den mechanischen irgend einen Zirkelweg zurückzufinden, der mit endlichem Gewinne von mechanischer Arbeit zurückzulegen wäre; dann war das Perpetuum mobile gefunden.

Aber, gewarnt durch die Erfolglosigkeit früherer Versuche, war man klüger geworden. Es wurde im Ganzen nicht viel nach Combinationen gesucht, welche das Perpetuum mobile zu liefern versprachen, sondern man kehrte die Frage um. Man fragte nicht mehr: Wie kann ich die bekannten und unbekannten Beziehungen zwischen den Naturkräften benutzen, um ein Perpetuum mobile zu construiren? sondern man fragte: Wenn ein Perpetuum mobile unmöglich sein soll, welche Beziehungen müssen dann zwischen den Naturkräften bestehen? Mit dieser Umkehr der Frage war Alles gewonnen. Man konnte leicht die Beziehungen der Naturkräfte zu einander, welche durch die genannte Annahme gefordert werden, vollständig hinstellen; man fand, dass sämmtliche bekannte Beziehungen der Kräfte sich den Folgerungen jener Annahme fügten, und man fand gleichzeitig eine Reihe noch unbekannter Beziehungen, deren thatsächliche Richtigkeit zu prüfen war. Erwies sich eine einzige als unrichtig, so gab es ein Perpetuum mobile.

Der Erste, welcher diesen Weg zu betreten suchte, war 1824 der Franzose Sadi Carnot. Trotz einer zu beschränkten Auffassung seines Gegenstandes und einer falschen Ansicht von der Natur der Wärme, die ihn zu einigen irrthümlichen Schlüssen verführte, missglückte sein Versuch nicht ganz. Er fand ein Gesetz, welches noch jetzt seinen Namen trägt, und auf welches ich zurückkommen werde.

Seine Arbeit blieb lange Zeit so gut wie unberücksichtigt, und erst 18 Jahre später fassten verschiedene Forscher in verschiedenen Ländern, unabhängig von Carnot, denselben Gedanken. Der Erste, welcher das allgemeine Naturgesetz, um welches es sich hier handelt, richtig auffasste und aussprach, war im Jahre 1842 [1]) ein deutscher Arzt, Julius Robert Mayer in Heilbronn. Wenig später, 1843, übergab Colding, ein Däne, der Akademie

[1]) Siehe Anhang am Schluss von Band I.

von Kopenhagen eine Abhandlung, welche dasselbe Gesetz aussprach und auch einige Versuchsreihen zu seiner weiteren Begründung enthielt. In England hatte Joule um dieselbe Zeit angefangen, Versuchsreihen anzustellen, welche sich auf den gleichen Gegenstand bezogen. Wir finden es häufig bei Fragen, zu deren Bearbeitung der zeitliche Entwickelungsgang der Wissenschaft hindrängt, dass mehrere Köpfe, ganz unabhängig von einander, eine genau übereinstimmende neue Gedankenreihe erzeugen.

Ich selbst hatte, ohne von Mayer und Colding etwas zu wissen, und mit Joule's Versuchen erst am Ende meiner Arbeit bekannt, denselben Weg betreten. Ich bemühte mich namentlich, alle Beziehungen zwischen den verschiedenen Naturprozessen aufzusuchen, welche aus der angegebenen Betrachtungsweise zu folgern waren, und veröffentlichte meine Untersuchungen 1847 in einer kleinen Schrift unter dem Titel: „Ueber die Erhaltung der Kraft".

Seitdem ist im wissenschaftlichen Publicum das Interesse an diesem Gegenstande allmählich gewachsen, namentlich in England, wie ich mich im letzten Sommer bei einem Aufenthalte daselbst zu überzeugen Gelegenheit hatte. Eine grosse Zahl der wesentlichen Folgerungen jener Betrachtungsweise, deren experimenteller Beweis zur Zeit der ersten theoretischen Arbeiten noch fehlte, ist durch Versuche bestätigt worden, hauptsächlich durch die von Joule. Im letzten Jahre hat auch der bedeutendste der französischen Physiker, Régnault, die neue Anschauungsweise angenommen und durch neue Untersuchungen über die specifische Wärme der Gasarten wesentlich zu ihrer Stütze beigetragen. Noch fehlt für einige wichtige Folgerungen der experimentelle Beweis; aber die Zahl der Bestätigungen ist so überwiegend, dass ich es nicht für verfrüht halte, auch ein nichtwissenschaftliches Publicum von diesem Gegenstande zu unterhalten.

Wie die Entscheidung der angeregten Frage ausgefallen ist, können Sie sich nach dem Vorausgeschickten denken. Es giebt durch die ganze Reihe der Naturprozesse keinen Zirkelweg zur Gewinnung mechanischer Kraft ohne entsprechenden Verbrauch. Das Perpetuum mobile bleibt unmöglich. Dadurch gewinnen aber unsere Betrachtungen ein höheres Interesse.

Wir haben bisher die Kraftentwickelung durch Naturprozesse nur in ihrem Verhältniss zum Nutzen des Menschen betrachtet, als Arbeitskraft in Maschinen. Jetzt sehen wir, dass wir ein allgemeines Naturgesetz vor uns haben, welches besteht, ganz unabhängig von der Anwendung, die der Mensch den Naturkräften

giebt; wir müssen deshalb auch den Ausdruck des Gesetzes dieser allgemeineren Bedeutung anpassen. Zunächst ist es klar, dass wir die Arbeit, welche durch irgend einen Naturprozess in einer Maschine unter günstigen Bedingungen erzeugt wird und die in der vorher angegebenen Weise gemessen werden kann, als ein allen gemeinsames Maass der Kraft benutzen können. Ferner entsteht die wichtige Frage: wenn die Menge der Arbeitskraft ohne entsprechenden Verbrauch nicht vermehrt werden kann, kann sie vermindert werden oder verloren gehen? Für die Zwecke unserer Maschinen allerdings, wenn wir die Gelegenheit verabsäumen, aus den Naturprozessen Nutzen zu ziehen, aber, wie die Untersuchung weiter ergeben hat, nicht für das Naturganze.

Die ältere Mechanik nahm an, dass beim Stosse und der Reibung zweier Körper gegen einander lebendige Kraft einfach verloren gehe. Ich habe jedoch schon angeführt, dass jeder Stoss und jede Reibung Wärme erzeugt, und zwar ist durch Joule's Versuche das wichtige Gesetz bewiesen, dass für jedes Fusspfund verlorener Arbeit immer eine genau bestimmte Menge Wärme entsteht, und dass, wenn Arbeit durch Wärme gewonnen wird, für jedes Fusspfund gewonnener Arbeit wiederum jene Menge Wärme verschwindet. Die Wärmemenge, welche nöthig ist, um die Temperatur von einem Pfunde Wasser um einen Grad des hunderttheiligen Thermometers zu erhöhen, entspricht einer Arbeitskraft, die ein Pfund um 425 Meter hebt; man nennt diese Grösse das mechanische Aequivalent der Wärme. Diese Thatsachen führen nothwendig zu dem Schlusse, dass die Wärme nicht, wie früher ziemlich allgemein angenommen wurde, ein feiner unwägbarer Stoff ist, sondern dass sie vielmehr, ähnlich dem Lichte und dem Schalle, eine besondere Form zitternder Bewegung der kleinsten Körpertheile sei. Bei Reibung und Stoss geht nach dieser Vorstellungsweise die scheinbar verlorene Bewegung der ganzen Massen nur in eine Bewegung ihrer kleinsten Theile über, und bei der Erzeugung von Triebkraft durch Wärme geht umgekehrt die Bewegung der kleinsten Theile wieder in eine solche der ganzen Massen über.

Chemische Verbindungen erzeugen Wärme, und zwar ist deren Menge durchaus unabhängig von der Zeitdauer und den Zwischenstufen, in denen die Verbindung vor sich gegangen ist, vorausgesetzt, dass nicht noch andere Wirkungen dabei hervorgebracht werden. Wird aber auch gleichzeitig, wie in der Dampfmaschine, mechanische Arbeit erzeugt, so erhalten wir so viel Wärme weniger, als dieser Arbeit äquivalent ist. Die Arbeitsgrösse der chemi-

schen Kräfte ist übrigens im Allgemeinen sehr gross. Ein Pfund reinste Kohle z. B. giebt verbrannt so viel Wärme, dass 8086 Pfund Wasser um einen Grad des hunderttheiligen Thermometers erwärmt werden; daraus berechnen wir, dass die Grösse der chemischen Anziehungskraft zwischen den kleinsten Theilchen von einem Pfund Kohle und dem dazu gehörigen Sauerstoffe fähig ist, 100 Pfund auf $4^1/_2$ Meilen Höhe zu heben. Leider sind wir mit unseren Dampfmaschinen bisher nur im Stande, den kleinsten Theil dieser Arbeit wirklich zu gewinnen, das meiste geht in der Form von Wärme unbenutzt verloren. Die besten Expansions-Dampfmaschinen geben nur 18 Proc. der durch das Brennmaterial erzeugten Wärme als mechanische Arbeit.

Aus einer ähnlichen Untersuchung aller übrigen bekannten physikalischen und chemischen Prozesse geht nun hervor, dass das Naturganze einen Vorrath von wirkungsfähiger Kraft besitzt, welcher in keiner Weise weder vermehrt noch vermindert werden kann, dass also die Quantität der wirkungsfähigen Kraft in der unorganischen Natur ebenso ewig und unveränderlich ist, wie die Quantität der Materie. In dieser Form ausgesprochen, habe ich das allgemeine Gesetz das Prinzip von der Erhaltung der Kraft genannt.

Wir Menschen können für menschliche Zwecke keine Arbeitskraft erschaffen, sondern wir können sie uns nur aus dem allgemeinen Vorrathe der Natur aneignen. Der Waldbach und der Wind, die unsere Mühlen treiben, der Forst und das Steinkohlenlager, welche unsere Dampfmaschinen versehen und unsere Zimmer heizen, sind uns nur Träger eines Theiles des grossen Kraftvorrathes der Natur, den wir für unsere Zwecke auszubeuten und dessen Wirkungen wir nach unserem Willen zu lenken suchen. Der Mühlenbesitzer spricht die Schwere des herabfliessenden Wassers oder die lebendige Kraft des vorbeistreichenden Windes als sein Eigenthum an. Diese Theile des allgemeinen Kraftvorrathes sind es, die seinem Besitzthum den Hauptwerth geben.

Daraus übrigens, dass kein Theilchen Arbeitskraft absolut verloren geht, folgt noch nicht, dass es noch ferner für menschliche Zwecke anwendbar sei. In dieser Beziehung sind die Folgerungen wichtig, welche William Thomson aus dem schon erwähnten Gesetze von Carnot gezogen hat. Dieses Gesetz giebt einen gewissen Zusammenhang an zwischen der Zusammendrückbarkeit aller Körper, ihrer Wärmecapacität und ihrer Ausdehnung durch Wärme. Es wurde zwar von Carnot gefunden, als er sich bemühte, die Beziehungen zwischen Wärme

und Arbeit aufzusuchen, gehört aber keineswegs zu den nothwendigen Folgerungen der Erhaltung der Kraft und wurde erst durch Clausius in dem Sinne abgeändert, dass es jenem allgemeinen Naturgesetze nicht mehr widerspricht. Es ist noch nicht als vollständig erwiesen zu betrachten; es hat aber durch einige merkwürdige Thatsachen, die aus ihm vorausgesagt und später durch Versuche bestätigt wurden, eine grosse Wahrscheinlichkeit bekommen. Man kann ihm ausser der von Carnot zuerst aufgestellten mathematischen Form auch folgenden allgemeineren Ausdruck geben: „Nur wenn Wärme von einem wärmeren zu einem kälteren Körper übergeht, kann sie, und auch dann nur theilweise, in mechanische Arbeit verwandelt werden."

Die Wärme eines Körpers, der sich nicht weiter abkühlen lässt, können wir auch nicht in eine andere Wirkungsform, in mechanische, elektrische oder chemische Kräfte zurückführen. So verwandeln wir in unseren Dampfmaschinen einen Theil der Wärme der glühenden Kohlen in Arbeit, indem wir sie an das weniger warme Wasser des Kessels übergehen lassen; wenn aber sämmtliche Körper der Natur eine und dieselbe Temperatur hätten, würde es unmöglich sein, irgend einen Theil ihrer Wärme wieder in Arbeit zu verwandeln. Demgemäss können wir den gesammten Kraftvorrath des Weltganzen in zwei Theile theilen: der eine Theil ist Wärme und muss Wärme bleiben, der andere, zu dem ein Theil der Wärme der heisseren Körper und der ganze Vorrath chemischer, mechanischer, elektrischer und magnetischer Kräfte gehört, ist der mannigfachsten Formveränderung fähig und unterhält den ganzen Reichthum wechselnder Veränderungen in der Natur.

Aber die Wärme heisser Körper strebt fortdauernd danach, durch Leitung und Strahlung auf die weniger warmen überzugehen und Gleichgewicht der Temperatur hervorzubringen. Bei jeder Bewegung irdischer Körper geht durch Reibung oder Stoss ein Theil mechanischer Kraft in Wärme über, von der nur ein Theil wieder zurückverwandelt werden kann; dasselbe ist in der Regel der Fall bei jedem chemischen und elektrischen Prozesse. Daraus folgt also, dass der erste Theil des Kraftvorraths, die unveränderliche Wärme, bei jedem Naturprozesse fortdauernd zunimmt; der zweite Theil, nämlich die mechanischen, elektrischen, chemischen Kräfte, fortdauernd abnimmt; und, wenn das Weltall ungestört dem Ablaufe seiner physikalischen Prozesse überlassen wird, so muss endlich aller Kraftvorrath in Wärme übergehen und alle Wärme in das Gleichgewicht der Temperatur kommen. Dann

ist jede Möglichkeit einer weiteren Veränderung erschöpft; dann muss vollständiger Stillstand aller Naturprozesse von jeder nur möglichen Art eintreten. Auch das Leben von Pflanzen, Thieren und Menschen kann nicht weiter bestehen, wenn die Sonne ihre höhere Temperatur und damit ihr Licht verloren hat und wenn sämmtliche Bestandtheile der Erdoberfläche die chemischen Verbindungen geschlossen haben werden, welche ihre Verwandtschaftskräfte fordern. Kurz das Weltall wird von da an zu ewiger Ruhe verurtheilt sein.

Diese Folgerung des Carnot'schen Gesetzes ist natürlich nur dann bindend, wenn es sich bei weiterer Prüfung als allgemein gültig erweist. Indessen scheint wenig Aussicht, dass dies nicht der Fall sein sollte. Jedenfalls müssen wir Thomson's Scharfsinn bewundern, der zwischen den Buchstaben einer schon länger bekannten, kurzen, nur von Wärme, Volumen und Druck der Körper sprechenden mathematischen Gleichung Folgerungen zu lesen verstand, die dem Weltall, wenn auch erst nach unendlich langer Zeit, mit ewigem Tode drohen.

Ich habe Ihnen vorher angekündigt, dass uns unser Weg durch eine dornenvolle und unerquickliche Strecke von mathematisch-mechanischen Begriffsentwickelungen führen würde. Jetzt haben wir diesen Theil des Weges zurückgelegt. Das allgemeine Prinzip, welches ich Ihnen darzulegen versuchte, hat uns auf einen Standpunkt mit weitumfassenden Aussichten gebracht, und wir können mit seiner Hülfe jetzt nach Belieben diese oder jene Seite der umliegenden Welt betrachten, wie sie uns gerade am meisten interessirt. Die Blicke in die engen Laboratorien der Physiker mit ihren kleinlichen Verhältnissen und verwickelten Abstractionen werden nicht so anziehend sein, als der Blick auf den weiten Himmel über uns, auf Wolken, Flüsse, Wälder und lebende Geschöpfe um uns. Wenn ich dabei Gesetze, welche zunächst nur von den physikalischen Prozessen zwischen irdischen Körpern hergeleitet sind, auch für andere Himmelskörper als gültig betrachte, so erinnere ich daran, dass dieselbe Kraft, welche wir auf der Erde Schwere nennen, in den Welträumen als Gravitation wirkt, dass sie in den Bewegungen unermesslich ferner Doppelsterne als wirksam wiederzuerkennen und dort genau denselben Gesetzen unterworfen ist, wie zwischen Erde und Mond; dass Licht und Wärme der irdischen Körper in keiner Beziehung wesentlich von denen der Sonne und der fernsten Fixsterne unterschieden sind; dass die Meteorsteine, die aus den Welträumen

zuweilen auf die Erde herabstürzen, ganz dieselben chemisch einfachen Stoffe enthalten, wie die irdischen Körper. Wir werden deshalb nicht anzustehen brauchen, allgemeine Gesetze, denen sämmtliche irdische Naturprozesse unterworfen sind, auch für andere Weltkörper als gültig zu betrachten und werden uns mit unserem Gesetze an die Aufgabe machen, den Haushalt des Weltalls, in Bezug auf die Vorräthe wirkungsfähiger Kraft, etwas zu überschauen.

Eine Menge von auffallenden Eigenthümlichkeiten im Bau unseres Planetensystems deuten darauf hin, dass es einst eine zusammenhängende Masse mit einer gemeinsamen Rotationsbewegung gewesen sein müsse. Ohne eine solche Annahme würde sich nämlich durchaus nicht erklären lassen, warum alle Planeten in derselben Richtung um die Sonne laufen, warum sie sich alle in derselben Richtung um ihre Axe drehen, warum die Ebenen ihrer Bahnen und die ihrer Trabanten und Ringe alle nahehin zusammenfallen, warum alle ihre Bahnen wenig von Kreisen unterschieden sind, und manches andere mehr. Aus diesen zurückgebliebenen Andeutungen eines früheren Zustandes haben sich die Astronomen eine Hypothese über die Entstehung unseres Planetensystems gebildet, welche, obgleich sie der Natur der Sache nach immer eine Hypothese bleiben wird, doch in ihren einzelnen Zügen durch Analogien so gut begründet ist, dass sie wohl unsere Aufmerksamkeit verdient; um so mehr, als diese Ansicht auf unserem heimischen Boden, innerhalb der Mauern dieser Stadt, zuerst entstand. Kant war es, der, sehr interessirt für die physische Beschreibung der Erde und des Weltgebäudes, sich dem mühsamen Studium von Newton's Werken unterzogen hatte, und als Zeugniss dafür, wie tief er in dessen Grundideen eingedrungen war, den genialen Gedanken fasste, dieselbe Anziehungskraft aller wägbaren Materie, welche jetzt den Lauf der Planeten unterhält, müsse auch einst im Stande gewesen sein, das Planetensystem aus locker im Weltraum verstreuter Materie zu bilden. Später fand, unabhängig von ihm, auch Laplace, der grosse Verfasser der Mécanique céleste, denselben Gedanken und bürgerte ihn in der Astronomie ein.

Den Anfang unseres Planetensystemes mit seiner Sonne haben wir uns danach als eine ungeheure nebelartige Masse vorzustellen, die den Theil des Weltraums ausfüllte, wo jetzt unser System sich befindet, bis weit über die Grenzen der Bahn des äussersten Planeten, des Neptun, hinaus. Noch jetzt erblicken wir in fernen Gegenden des Firmamentes Nebelflecken, deren Licht, wie die

Spectralanalyse lehrt, das Licht glühender Gase ist, in deren Spectrum sich namentlich diejenigen hellen Linien zeigen, welche glühender Wasserstoff und glühender Stickstoff erzeugen. Und auch innerhalb der Räume unseres eigenen Sonnensystemes zeigen die Kometen, die Schwärme der Sternschnuppen, sowie das Zodiakallicht deutliche Spuren staubförmig verstreuter Substanz, die aber nach dem Gesetz der Schwere sich bewegt, und, zum Theil wenigstens, allmählich durch die grösseren Körper zurückgehalten und einverleibt wird. Letzteres geschieht in der That mit den Sternschnuppen und Meteormassen, welche in die Atmosphäre unserer Erde gerathen.

Berechnet man die Dichtigkeit der Masse unseres Planetensystemes nach der gemachten Annahme für die Zeit, wo es ein Nebelball war, der bis an die Bahnen der äussersten Planeten reichte, so findet sich, dass viele Millionen Cubikmeilen erst ein Gran wägbarer Materie enthielten.

Die allgemeine Anziehungskraft aller Materie zu einander musste aber diese Massen antreiben, sich einander zu nähern und sich zu verdichten, so dass sich der Nebelball immer mehr und mehr verkleinerte, wobei, nach mechanischen Gesetzen, eine ursprünglich langsame Rotationsbewegung, deren Dasein man voraussetzen muss, allmählich immer schneller und schneller wurde. Durch die Schwungkraft, die in der Nähe vom Aequator des Nebelballs am stärksten wirken musste, konnten von Zeit zu Zeit Massen losgerissen werden, welche dann, getrennt von dem Ganzen, ihre Bahn fortsetzten und sich zu einzelnen Planeten oder, ähnlich dem grossen Balle, zu Planeten mit Trabantensystemen und Ringen umformten, bis endlich die Hauptmasse zum Sonnenkörper sich verdichtete. Ueber den Ursprung von Wärme und Licht giebt uns jene Ansicht noch keinen Aufschluss.

Als sich jenes Nebelchaos zuerst von anderen Fixsternmassen getrennt hatte, musste es nicht nur sämmtliche Materie enthalten, aus der das künftige Planetensystem zusammenzusetzen war, sondern, unserem neuen Gesetze gemäss, auch den ganzen Vorrath von Arbeitskraft, der einst darin seinen Reichthum von Wirkungen entfalten sollte. In der That war ihm eine ungeheuer grosse Mitgift in dieser Beziehung, schon allein in Form der allgemeinen Anziehungskraft aller seiner Theile zu einander, verliehen. Diese Kraft, welche auf der Erde sich als Schwerkraft äussert, wird in Bezug auf ihre Wirksamkeit in den Weltenräumen die himmlische Schwere oder Gravitation genannt. Wie die irdische

Schwere, wenn sie ein Gewicht zur Erde niederzieht, eine Arbeit verrichtet und lebendige Kraft erzeugt, so thut es auch jene himmlische, wenn sie zwei Massentheilchen aus entfernten Gegenden des Weltraums zu einander führt.

Auch die chemischen Kräfte mussten schon vorhanden sein, bereit zu wirken; da aber diese Kräfte erst bei der innigsten Berührung der verschiedenartigen Massen zur Wirksamkeit gelangen können, musste Verdichtung eingetreten sein, ehe ihr Spiel beginnen konnte.

Ob noch ein weiterer Kraftvorrath in Gestalt von Wärme im Uranfange vorhanden war, wissen wir nicht. Jedenfalls finden wir mit Hülfe des Gesetzes der Aequivalenz von Wärme und Arbeit in den mechanischen Kräften jenes Urzustandes eine so reiche Quelle von Wärme und Licht, dass wir keine Veranlassung haben, zu einer anderen, ursprünglich bestehenden, unsere Zuflucht zu nehmen. Wenn nämlich bei der Verdichtung der Massen die Theilchen auf einander stiessen und an einander hafteten, so wurde die lebendige Kraft ihrer Bewegung vernichtet und musste zu Wärme werden. Schon in älteren Theorien hat man dem Rechnung getragen, dass das Zusammenstossen kosmischer Massen Wärme erzeugen muss, aber man war weit entfernt davon, auch nur annähernd zu beurtheilen, wie hoch diese Wärme zu veranschlagen sein möchte. Heute können wir mit Sicherheit bestimmte Zahlenwerthe angeben.

Schliessen wir uns also der Voraussetzung an, dass am Anfang die Dichtigkeit der nebelartig vertheilten Materie verschwindend klein gewesen sei gegen die jetzige Dichtigkeit der Sonne und der Planeten, so können wir berechnen, wie viel Arbeit bei der Verdichtung geleistet worden ist; wir können ferner berechnen, wie viel von dieser Arbeit noch jetzt in Form mechanischer Kraftgrössen besteht, als Anziehung der Planeten zur Sonne und als lebendige Kraft ihrer Bewegung, und daraus finden, wie viel in Wärme verwandelt worden ist.

Das Ergebniss dieser Rechnung [1]) ist, dass nur noch etwa der 443ste Theil der ursprünglichen mechanischen Kraft als solche besteht, dass das Uebrige, in Wärme verwandelt, hinreicht, um eine Wassermasse, welche eben so gross ist, wie die Masse der Sonne und Planeten zusammengenommen, um nicht weniger als 28 Millionen Grad Celsius zu erhitzen. Zur Vergleichung

[1]) Siehe „Anhang“ am Schluss von Band I.

führe ich an, dass die höchste Temperatur, welche wir im Sauerstoffgebläse hervorbringen können, wobei sogar Platina schmilzt und verdampft, und nur sehr wenige bekannte Stoffe fest bleiben, auf etwa 2000 Grad geschätzt wird. Welche Wirkungen wir einer Temperatur von 28 Millionen Grad zuschreiben sollen, davon können wir uns gar keine Vorstellung machen. Wenn die Masse unseres ganzen Systems reine Kohle wäre und das Ganze verbrannt würde, so würde dadurch erst der 3500 ste Theil jener Wärmemenge erzeugt werden. So viel ist klar, dass eine so grosse Wärmeentwickelung das grösste Hinderniss für eine schnelle Vereinigung der Massen gewesen sein muss, und dass wohl erst der grösste Theil dieser Wärme durch Strahlung sich in den Weltraum hinein verlieren musste, ehe die Massen so dichte Körper bilden konnten, wie Planeten und Sonne gegenwärtig sind. Als sie sich bildeten, konnten ihre Bestandtheile nur in feurigem Flusse sein, was sich übrigens für die Erde durch geologische Phänomene bestätigt, während die abgeplattete Kugelform, welche die Gleichgewichtsform einer rotirenden flüssigen Masse ist, auch bei allen anderen Körpern unseres Systemes auf einen ursprünglich flüssigen Zustand hindeutet. Wenn ich unserem Systeme ohne Ersatz eine ungeheure Wärmequantität verloren gehen liess, so ist das kein Widerspruch gegen das Prinzip von der Erhaltung der Kraft. Sie ist wohl unserem Planetensysteme verloren gegangen, nicht aber dem Weltall. Sie ist hinausgegangen und geht noch täglich hinaus in die unendlichen Räume, und wir wissen nicht, ob das Mittel, welches die Licht- und Wärmeschwingungen fortleitet, irgend welche Grenzen hat, wo die Strahlen umkehren müssen, oder ob sie für immer ihre Reise in die Unendlichkeit hinein fortsetzen.

Uebrigens ist auch der gegenwärtig vorhandene Vorrath von mechanischer Kraft in unserem Planetensystem noch ungeheuren Wärmemengen äquivalent. Könnte durch einen Stoss unsere Erde in ihrer Bewegung um die Sonne plötzlich zum Stillstande gebracht werden, — was bei der bestehenden Einrichtung des Planetensystems jedoch nicht zu befürchten ist, — so würde durch diesen Stoss so viel Wärme erzeugt werden, als die Verbrennung von 14 Erden aus reiner Kohle zu erzeugen im Stande sein würde. Ihre Masse würde, auch wenn wir die ungünstigste Annahme über ihre Wärmecapacität machten und sie der des Wassers gleichsetzten, doch um 112000 Grade erwärmt, also ganz geschmolzen und zum grössten Theile verdampft werden. Stürzte

die Erde dann aber, wie es der Fall sein würde, wenn s
Stillstande käme, in die Sonne hinein, so würde die durch
solchen Stoss entwickelte Wärme noch 400 mal grösser se

Noch jetzt wiederholt sich von Zeit zu Zeit ein
Prozess in kleinem Maasstabe. Es kann einem Zweifel
mehr unterworfen sein, dass die Sternschnuppen, Feuer
und Meteorsteine Massen sind, welche dem Weltenraun
gehören, und dass sie, ehe sie in den Bereich unserer
kommen, nach Art der Planeten sich um die Sonne be
Nur wenn sie in unsere Atmosphäre eindringen, werden
sichtbar und stürzen zuweilen herab. Um zu erklären, d
dabei leuchtend werden, und dass die herabgestürzten Stü
ersten Augenblicke sehr heiss sind, hat man schon längst
Reibung gedacht, die sie in der Luft erleiden. Jetzt könn
berechnen, dass eine Geschwindigkeit von 3000 Fuss
Secunde hinreicht, wenn die Reibungswärme ganz an di
Masse übergeht, ein Stück Meteoreisen beim Falle auf 100
zu erhitzen, es also in lebhaftes Glühen zu versetzen. Nun
aber die mittlere Geschwindigkeit der Sternschnuppen
50 mal grösser zu sein, nämlich 4 bis 6 Meilen in der S
zu betragen. Dafür verbleibt aber der beträchtlichste
der erzeugten Wärme bei der verdichteten Luftmasse,
das Meteor vor sich hertreibt. Bekannt ist, dass helle
schnuppen gewöhnlich eine lichte Spur hinter sich lassen;
scheinlich sind dies losgestossene glühende Theile ihrer Obe
Meteormassen, welche herabstürzen, zerspringen oft mit h
Explosionen, was als eine Wirkung der schnellen Erhitzu
zusehen sein dürfte. Die frisch gefallenen Stücke hat ma
heiss, aber nicht glühend gefunden, und dies damit erklär
während der kurzen Zeit, in der das Meteor die Atmosphäre
eilt, nur eine dünne Schicht der Oberfläche zum Glühen
wird, in das Innere der Masse aber noch wenig Wärme eind
kann. Deshalb mag das Glühen auch schnell wieder verschw

So hat uns der Meteorsteinfall, als ein winziger Re
Vorgängen, welche in der Bildung der Himmelskörper ei
bedeutendste Rolle gespielt zu haben scheinen, in die
Zeit geführt, wo wir aus dem Dunkel hypothetischer Vorstel
in die Helle des Wissens übergehen. Hypothetisch ist üb
in dem bisher Vorgetragenen nur die Annahme von Kan
Laplace, dass die Massen unseres Systems anfangs neb
im Raume vertheilt gewesen seien.

Der Seltenheit des Falles wegen wollen wir an dieser Stelle der engen Uebereinstimmung gedenken, in der sich die Wissenschaft hier einmal mit den alten Sagen der Menschheit und den Ahnungen dichterischer Phantasie befindet. Die Kosmogonien der alten Völker beginnen meist alle mit dem Chaos und der Finsterniss, wie denn auch Mephistopheles von sich selbst sagt:

Ich bin ein Theil des Theils, der anfangs Alles war,
Ein Theil der Finsterniss, die sich das Licht gebar,
Das stolze Licht, das nun der Mutter Nacht
Den alten Rang, den Raum, ihr streitig macht.

Auch die mosaische Sage weicht nicht sehr ab, namentlich wenn wir berücksichtigen, dass das, was Moses im Anfange Himmel nennt, von der Veste, dem blauen Himmelsgewölbe, unterschieden ist, also dem Weltraum entspricht, und dass die ungeformte Erde und die Wasser der Tiefe, welche erst später in die über der Veste und die unter der Veste geschieden werden, dem chaotischen Weltstoffe gleichen:

„Im Anfange schuf Gott Himmel und Erde, und die Erde war wüste und leer, und Finsterniss war auf der Tiefe, und der Geist Gottes schwebte über dem Wasser. Und Gott sprach: es werde Licht. Und es ward Licht."

Aber wie in dem leuchtend gewordenen Nebelballe und auf der jungen feurig flüssigen Erde der modernen Kosmogonie war auch hier das Licht noch nicht in Sonne und Sterne, die Zeit noch nicht in Tag und Nacht geschieden; sondern dieses geschah erst nach der Erkaltung der Erde.

„Da schied Gott das Licht von der Finsterniss, und nannte das Licht Tag und die Finsterniss Nacht. Da ward aus Abend und Morgen der erste Tag."

Nun erst und nachdem sich das Wasser im Meere gesammelt und die Erde trockengelegt war, konnten Pflanzen und Thiere entstehen; denn für sie

Taugt einzig Tag und Nacht.

Unsere Erde trägt noch die unverkennbaren Spuren ihres alten feurig flüssigen Zustandes an sich. Die granitene Grundlage ihrer Gebirge zeigt eine Structur, welche nur durch das krystallinische Erstarren geschmolzener Massen entstanden sein kann. Noch jetzt zeigen die Untersuchungen der Temperatur in Bergwerken und Bohrlöchern, dass die Wärme in der Tiefe zunimmt; und wenn diese Zunahme gleichmässig ist, findet sich schon

in der Tiefe von 10 Meilen eine Temperatur, bei der alle unsere Gebirgsarten schmelzen. Noch jetzt fördern unsere Vulkane von Zeit zu Zeit mächtige Massen geschmolzenen Gesteins aus dem Innern hervor, als Zeugen der dort herrschenden Gluth. Aber schon ist die abgekühlte Kruste der Erde so dick geworden, dass — wie die Berechnung ihrer Wärmeleitungsfähigkeit ergiebt — die von innen hervordringende Wärme, verglichen mit der von der Sonne gesendeten, ausserordentlich klein ist. Sie kann die Temperatur der Oberfläche nur etwa um $^1/_{30}$ Grad vermehren, so dass der Rest des alten Kraftvorrathes, welcher als Wärme im Innern des Erdkörpers aufgespeichert ist, fast nur noch in den vulkanischen Erscheinungen auf die Vorgänge der Oberfläche von Einfluss ist. Diese Vorgänge gewinnen ihre Triebkraft beinahe ganz aus der Einwirkung anderer Himmelskörper, namentlich aus dem Lichte und der Wärme der Sonne, theilweise auch aus der Anziehungskraft der Sonne und des Mondes.

Am reichsten ist das Gebiet der Veränderungen, welche wir der Wärme und dem Lichte der Sonne verdanken. Die Sonne erwärmt unsern Luftkreis ungleichmässig, die wärmere, verdünnte Luft steigt empor, während von den Seiten neue kühlere Luft hinzufliesst; so entstehen die Winde. Am mächtigsten wirkt diese Ursache am Aequator ein, dessen wärmere Luft in den höheren Schichten der Atmosphäre fortdauernd nach den Polen zu abfliesst, während ebenso anhaltend am Erdboden selbst die Passatwinde neue kühlere Luft nach dem Aequator zurückführen. Ohne Sonnenwärme würden alle Winde nothwendig aufhören. Aehnliche Strömungen entstehen aus dem gleichen Grunde im Meereswasser. Von ihrer Mächtigkeit zeugt namentlich der Einfluss, den sie auf das Klima mancher Gegenden haben. Durch sie wird das warme Wasser des Antillenmeeres zu den britischen Inseln herübergeführt und bringt diesen eine milde, gleichmässige Wärme neben reichlicher Feuchtigkeit, während durch andere Strömungen das Treibeis des Nordpols bis in die Gegend von Neufundland geführt wird und hier rauhe Kälte verbreitet. Durch die Sonnenwärme wird ferner ein Theil des Wassers verdampft, steigt in die oberen Schichten der Atmosphäre, wird zu Nebeln verdichtet und bildet Wolken; oder es fällt als Regen und Schnee wieder auf die Erde und ihre Berge zurück und sammelt sich in Form von Quellen, Bächen und Flüssen. Endlich kehrt es in das Meer zurück, nachdem es die Felsen zernagt, lockeres Erdreich weggeschwemmt, und so das Seinige an der geologischen

Veränderung der Erde gethan und vielleicht unterwegs noch unsere Wassermühlen getrieben hat. Nehmen wir die Sonnenwärme hinweg, so bleibt auf der Erde nur eine einzige Bewegung des Wassers noch übrig, nämlich Ebbe und Fluth, welche durch die Anziehung der Sonne und des Mondes hervorgerufen werden.

Wie ist es nun mit den Bewegungen und der Arbeit der organischen Wesen? Jenen Erbauern der Automaten des vorigen Jahrhunderts erschienen Menschen und Thiere als Uhrwerke, welche nie aufgezogen würden und die sich ihre Triebkraft aus nichts schafften; man wusste die aufgenommene Nahrung noch nicht in Verbindung zu setzen mit der Krafterzeugung. Seitdem wir aber an der Dampfmaschine diesen Ursprung von Arbeitskraft kennen gelernt haben, müssen wir fragen: Verhält es sich beim Menschen nicht ähnlich? In der That ist die Fortdauer des Lebens an die fortdauernde Aufnahme von Nahrungsmitteln gebunden. Diese sind verbrennliche Substanzen, welche, nachdem sie nach vollendeter Verdauung in die Blutmasse übergegangen sind, in den Lungen einer langsamen Verbrennung unterworfen werden und schliesslich in dieselben Verbindungen mit dem Sauerstoffe der Luft übergehen, wie sie bei einer Verbrennung in offenem Feuer entstehen würden. Da die Quantität der durch Verbrennung erzeugten Wärme unabhängig ist von der Dauer der Verbrennung und von den Zwischenstufen, in denen sie erfolgt, so können wir auch aus der Masse des verbrauchten Materials berechnen, wie viel Wärme oder dieser äquivalente Arbeit dadurch von einem Thierkörper erzeugt werden kann. Leider sind die Schwierigkeiten der Versuche noch sehr gross; innerhalb derjenigen Grenzen der Genauigkeit aber, welche dabei bis jetzt erreicht werden konnte, zeigen sie, dass die im Thierkörper wirklich erzeugte Wärme der durch die chemischen Prozesse zu liefernden entspricht. Der Thierkörper unterscheidet sich also durch die Art, wie er Wärme und Kraft gewinnt, nicht von der Dampfmaschine, wohl aber durch die Zwecke, zu welchen und die Weise, in welcher er die gewonnene Kraft weiter benutzt. Er ist ausserdem in der Wahl seines Brennmaterials beschränkter als die Dampfmaschine. Letztere würde mit Zucker, Stärkemehl und Butter ebenso gut geheizt werden können, als mit Steinkohlen und Holz; der Thierkörper muss sein Brennmaterial künstlich auflösen und durch seinen Organismus vertheilen; er muss ferner das leicht abnutzbare Material seiner Organe fortdauernd erneuern, und, da er die dazu nöthigen Stoffe nicht selbst bilden kann, sie von aussen aufnehmen. Liebig

hat zuerst auf diese wesentlich verschiedenen Bestimmungen der aufgenommenen Nahrung aufmerksam gemacht. Als Bildungsmaterial für den fortwährenden Neubau des Körpers können, wie es scheint, nur bestimmte eiweissartige Stoffe benutzt werden, welche in den Pflanzen vorkommen und auch die Hauptmasse des Thierkörpers bilden. Aus ihnen besteht nur ein kleiner Theil der täglichen Nahrungsmasse; die übrigen Nahrungsstoffe, wie Zucker, Stärkemehl und Fett, sind in der That nur Heizungsmaterial; vielleicht sind sie nur deshalb durch Steinkohlen nicht zu ersetzen, weil diese sich nicht auflösen lassen.

Wenn sich die Prozesse der organischen Körper in dieser Beziehung nicht von den unorganischen unterscheiden, so entsteht die Frage: woher kommen die Nahrungsmittel, welche für den Thierkörper die Quelle der Kraft sind? Die Antwort ist: aus dem Pflanzenreiche. Denn nur die Pflanzenstoffe oder das Fleisch pflanzenfressender Thiere können als Nahrungsmittel verbraucht werden. Die pflanzenfressenden Thiere bilden nur eine Zwischenstufe, welche den Fleischfressern, denen wir hier auch den Menschen beigesellen müssen. Nahrung zubereitet aus solchen Pflanzenstoffen, die jene nicht selbst unmittelbar als Nahrung gebrauchen können. Im Gras und im Heu sind im Wesentlichen dieselben nährenden Substanzen enthalten, wie im Getreidemehl, nur in geringerer Quantität. Da aber die Verdauungsorgane des Menschen nicht im Stande sind, die geringe Menge des Brauchbaren aus dem grossen Ueberschusse des Unlöslichen auszuziehen, so unterwerfen wir diese Stoffe zunächst den mächtigen Verdauungsorganen des Rindes, lassen die Nahrung in dessen Körper aufspeichern, um sie schliesslich in angenehmerer und brauchbarerer Form für uns zu gewinnen. Wir werden also mit unserer Frage auf das Pflanzenreich zurückgewiesen. Untersucht man nun die Einnahme und Ausgabe der Pflanzen, so findet man, dass ihre Haupteinnahme in den Verbrennungsproducten besteht, welche das Thier erzeugt. Sie nehmen den bei der Athmung verbrannten Kohlenstoff, die Kohlensäure, aus der Luft, den verbrannten Wasserstoff als Wasser, den Stickstoff, ebenfalls in seiner einfachsten und engsten Verbindung, als Ammoniak auf, und erzeugen aus diesen Stoffen mit Beihülfe weniger, aus dem Boden aufgenommener Bestandtheile von Neuem die zusammengesetzten verbrennlichen Substanzen, Eiweiss, Zucker, Oel, von denen das Thier lebt. Hier scheint also ein Zirkel zu sein, der eine ewige Kraftquelle ist. Die Pflanzen bereiten Brennmaterial und Nährstoffe, die Thiere nehmen

diese auf, verbrennen sie langsam in ihren Lungen; von den Verbrennungsproducten leben wieder die Pflanzen. Diese sind eine ewige Quelle chemischer, jene mechanischer Kraftgrössen. Sollte die Verbindung beider organischen Reiche das Perpetuum mobile herstellen? Wir dürfen nicht so schnell schliessen; weitere Untersuchung ergiebt, dass die Pflanzen verbrennliche Substanz nur unter dem Einflusse des Sonnenlichtes zu bereiten vermögen. Ein Theil der Sonnenstrahlen zeichnet sich durch merkwürdige Beziehungen zu den chemischen Kräften aus, kann chemische Verbindungen schliessen und lösen; man nennt deshalb diese Strahlen, welche meist von blauer oder violetter Farbe sind, chemische Strahlen. Wir benutzen ihre Wirksamkeit namentlich bei der Anfertigung von Lichtbildern. Hier sind es Verbindungen des Silbers, die an den Stellen, wo sie von den Lichtstrahlen getroffen werden, sich zersetzen. Dieselben Sonnenstrahlen trennen in den grünen Pflanzenblättern die mächtige chemische Verwandtschaft des Kohlenstoffs, der Kohlensäure zum Sauerstoffe, geben letzteren frei der Atmosphäre zurück, und häufen ersteren mit anderen Stoffen verbunden als Holzfaser, Stärkemehl, Oel oder Harz in der Pflanze an. Diese chemisch wirkenden Strahlen des Sonnenlichtes verschwinden vollständig, sobald sie grüne Pflanzentheile treffen; daher erscheinen denn auch die grünen Pflanzenblätter auf Photographien so gleichmässig schwarz, weil das von ihnen kommende Licht, dem die chemischen Strahlen fehlen, auch auf Silberverbindungen nicht mehr wirkt. Ausser den blauen und violetten Strahlen spielen auch die gelben eine hervorragende Rolle bei dem Wachsthum der Pflanzen. Auch sie werden durch die Pflanzenblätter verhältnissmässig stark absorbirt.

Es verschwindet also wirkungsfähige Kraft des Sonnenlichtes, während verbrennliche Stoffe in den Pflanzen erzeugt und aufgehäuft werden, und wir können als sehr wahrscheinlich vermuthen, dass der erste Vorgang der Grund des zweiten ist. Allerdings, muss ich bemerken, besitzen wir noch keine Versuche, aus denen sich bestimmen liesse, ob die lebendige Kraft der verschwundenen Sonnenstrahlen dem in derselben Zeit angehäuften chemischen Kraftvorrath entspricht; und so lange diese Versuche fehlen, können wir die angegebene Beziehung noch nicht als Gewissheit betrachten. Wenn sich diese Ansicht bestätigt, so ergiebt sich daraus für uns das schmeichelhafte Resultat, dass alle Kraft, vermöge deren unser Körper lebt und sich bewegt, ihren Ursprung direct aus dem reinsten Sonnenlichte herzieht, und dass wir alle

an Adel der Abstammung dem grossen Monarchen des chinesischen Reiches, der sich den Sohn der Sonne nennt, nicht nachstehen. Freilich theilen diesen ätherischen Ursprung auch alle unsere niederen Mitgeschöpfe, die Kröte und der Blutegel, die ganze Pflanzenwelt und selbst das Brennmaterial, urweltliches wie jüngst gewachsenes, womit wir unsere Oefen und Maschinen heizen.

So sehen Sie denn, dass der ungeheure Reichthum immer neu wechselnder meteorologischer, klimatischer, geologischer und organischer Vorgänge auf unserer Erde fast allein durch die leuchtenden und wärmenden Strahlen der Sonne im Gange erhalten wird, und Sie haben daran ein auffallendes Beispiel, wie in der Natur die Wirkungen einer Ursache unter abgeänderten äusseren Bedingungen proteusartig wechseln können. Die Erde erleidet ausserdem noch eine andere Art der Einwirkung, sowohl von ihrem Centralgestirne der Sonne, als von ihrem Trabanten, dem Monde, welche sich in den merkwürdigen Phänomenen der Ebbe und Fluth des Meeres zu erkennen giebt.

Jedes dieser Gestirne erregt durch seine Anziehung auf das Meereswasser zwei riesige Wellen, welche in derselben Richtung um die Erde laufen, wie es scheinbar die Gestirne thun. Die beiden Wellen des Mondes sind wegen seiner grösseren Nähe etwa $3^1/_2$ mal so gross, als die beiden, von der Sonne erregten Wellen. Die eine dieser Mondwellen hat ihren Höhepunkt auf dem Viertel der Erdoberfläche, welches dem Monde zugekehrt ist, die andere auf dem gerade entgegengesetzten. Diese beiden Viertel haben Fluth, die dazwischenliegenden haben Ebbe. Im offenen Meere beträgt die Höhe der Fluth nur etwa drei Fuss, sie steigert sich aber in einzelnen engen Canälen, wo das bewegte Wasser zusammengedrängt ist, bis gegen 30 Fuss. Die Mächtigkeit des Phänomens geht am besten aus der Berechnung von Bessel hervor; danach besitzt ein vom Meere bedecktes Viertel der Erdoberfläche während seiner Fluthzeit etwa 200 Cubikmeilen Wasser mehr, als während der Ebbe; eine solche Wassermasse muss also während $6^1/_4$ Stunden von einem Erdviertel zum andern fliessen.

Schon Robert Mayer hat erkannt, dass das Phänomen der Ebbe und Fluth, verbunden mit dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft, in einer merkwürdigen Beziehung steht zu der Frage von der Beständigkeit unseres Planetensystems. Die von Newton gefundene mechanische Theorie der Planetenbewegungen lehrt, dass, wenn ein fester Körper im absolut leeren Raume, von der Sonne angezogen, sich in der Weise der Planeten um diese bewegt,

seine Bewegung unverändert weiterbestehen wird bis in alle Ewigkeit.

Nun haben wir in Wirklichkeit nicht einen, sondern viele Planeten, welche sich um die Sonne bewegen und in deren Bahnen durch gegenseitige Anziehung kleine Veränderungen und Störungen hervorgebracht werden. Indessen hat Laplace in seinem grossen Werke: „la Mécanique céleste“ nachgewiesen, dass in unserem Planetensysteme alle diese Störungen periodisch zu- und abnehmen, dass sie nie gewisse Grenzen überschreiten können, dass also dadurch für alle Ewigkeit das Bestehen des Planetensystems nicht gefährdet werde.

Aber ich habe schon zwei Voraussetzungen genannt, welche gemacht werden mussten: erstens, dass der Weltraum absolut leer sei, zweitens, dass Sonne und Planeten feste Körper seien. Das erstere ist wenigstens insofern der Fall, als man, so weit die astronomischen Beobachtungen zurückreichen, noch keine solche Veränderung in der Bewegung der Planeten hat entdecken können, wie sie ein widerstehendes Mittel hervorbringen würde. Aber an einem kleineren Himmelskörper von geringer Masse, dem Encke'schen Kometen, finden sich Veränderungen solcher Art; er beschreibt immer enger werdende Ellipsen um die Sonne. Wenn diese Art der Bewegung, die allerdings der in einem widerstehenden Mittel entspricht, wirklich von einem solchen herrührt, so wird eine Zeit kommen, wo der Komet in die Sonne stürzt. Auch den Planeten droht endlich ein solcher Untergang, wenn auch erst nach Zeiträumen, von deren Länge wir uns keinen Begriff machen können. Aber wenn uns auch die Existenz eines widerstehenden Mittels zweifelhaft erscheinen könnte, so ist dagegen unzweifelhaft, dass die Planeten nicht ganz aus festen und unbeweglich verbundenen Massen bestehen. Zeichen von vorhandenen Atmosphären sind an der Sonne, der Venus, dem Mars, dem Jupiter und dem Saturn gefunden, Zeichen von Wasser und Eis auf dem Mars; unsere Erde hat unzweifelhaft einen flüssigen Theil an ihrer Oberfläche, und vielleicht einen noch grösseren in ihrem Innern. Die Bewegungen der Ebbe und Fluth in den Meeren, wie in den Atmosphären, geschehen aber mit Reibung; jede Reibung vernichtet lebendige Kraft; der Verlust kann in diesem Falle nur die lebendige Kraft der Planetenbewegungen treffen. Wir kommen dadurch zu dem unvermeidlichen Schluss, dass jede Ebbe und Fluth fortdauernd und, wenn auch unendlich langsam, doch sicher, den Vorrath von mechanischer

Kraft des Systemes verringert, wobei sich dann die Axendrehung der betreffenden Planeten verlangsamen muss. In der That ist eine solche Verzögerung für die Erde durch die neueren sorgfältigen Untersuchungen der Mondbewegung von Hansen, Adams und Delaunay nachgewiesen worden. Nach Ersterem hat seit Hipparch die Dauer jedes Sterntages um $^1/_{81}$ Secunde, die Dauer eines Jahrhunderts um eine halbe Viertelstunde zugenommen; nach William Thomson und Adams wäre die Zunahme fast doppelt so gross. Eine Uhr, die zu Anfang eines Jahrhunderts richtig ginge, würde zu Ende des Jahrhunderts der Erde um 22 Secunden vorausgeeilt sein. Laplace hatte die Existenz einer solchen Verzögerung der Umdrehung der Erde geleugnet: um ihren Betrag zu finden, musste die Theorie der Mondbewegung erst viel genauer entwickelt werden, als das zu seiner Zeit möglich war. Der endliche Erfolg dieser Verzögerung vom Erdumlaufe wird sein, aber erst nach Millionen von Jahren, falls das Meer nicht inzwischen eingefroren ist, dass sich eine Seite der Erde constant der Sonne zukehren und ewigen Tag, die entgegengesetzte Seite dagegen ewige Nacht haben würde. Eine solche Stellung finden wir an unserem Monde in Bezug auf die Erde, und auch an anderen Trabanten in Bezug auf ihre Planeten; sie ist vielleicht die Wirkung der gewaltigen Ebbe und Fluth, denen einst diese Körper zur Zeit ihres feurig flüssigen Zustandes unterworfen gewesen sind.

Ich würde diese Schlüsse, welche uns wieder in die fernste Ferne zukünftiger Zeiten hinausführen, nicht beigebracht haben, wenn sie nicht eben unvermeidlich wären. Physikalisch-mechanische Gesetze sind wie Teleskope unseres geistigen Auges; sie dringen in die fernste Nacht der Vergangenheit und Zukunft.

Eine andere wesentliche Frage für die Zukunft unseres Planetensystems ist die seiner künftigen Temperatur und Erleuchtung. Da die innere Wärme des Erdballs wenig Einfluss auf die Temperatur der Erdoberfläche hat, kommt es hier wesentlich auf die von der Sonne ausströmende Wärme an. Es kann gemessen werden, wie viel Sonnenwärme hier auf der Erde in einer gegebenen Zeit eine gegebene Fläche trifft, und daraus kann berechnet werden, wie viel Wärme in einer gewissen Zeit von der Sonne ausgeht. Dergleichen Messungen sind von dem französischen Physiker Pouillet ausgeführt worden. Nach diesen giebt die Sonne so viel Wärme ab, dass, um diese durch Verbrennung zu erzeugen, an ihrer ganzen Oberfläche stündlich eine Schicht

dichtesten Kohlenstoffs von etwa 10 Fuss Mächtigkeit, in einem Jahre also etwa eine Schicht von $3^1/_2$ Meilen, abbrennen müsste. Würde diese Wärme dem ganzen Sonnenkörper gleichmässig entzogen, so würde dessen Temperatur jährlich doch nur um $1^1/_4$ Grad erniedrigt werden, wenn wir seine Wärmecapacität der des Wassers gleichsetzten. Diese Angaben können uns wohl die Grösse der Ausgabe im Verhältniss zur Oberfläche und zum Inhalte der Sonne anschaulich machen; sie können uns aber keinen Aufschluss darüber geben, ob die Sonne nur als glühender Körper die Wärme ausstrahlt, die seit ihrer Entstehung in ihr angehäuft ist, oder ob fortdauernd eine Neuerzeugung von Wärme vermöge chemischer Prozesse an ihrer Oberfläche stattfindet. Jedenfalls lehrt uns unser Gesetz von der Erhaltung der Kraft, dass kein Prozess, der den auf der Erde bekannten analog ist, in der Sonne die Wärme- und Lichtausstrahlung für ewige Zeiten unerschöpflich unterhalten kann. Aber dasselbe Gesetz lehrt uns auch, dass die vorhandenen Kraftvorräthe, die als Wärme schon existiren, oder die einst zu Wärme werden können, noch für unermesslich lange Zeiten ausreichen. Ueber die Vorräthe von chemischer Kraft in der Sonne können wir nichts muthmaassen, die in ihr aufgehäuften Wärmevorräthe nur durch sehr unsichere Schätzungen bestimmen. Wenn wir aber der sehr wahrscheinlichen Ansicht folgen, die von den Astronomen gefundene, für ein Gestirn von so grosser Masse auffallend geringe Dichtigkeit sei durch die hohe Temperatur bedingt, und könne mit der Zeit grösser werden, so lässt sich berechnen, dass, wenn der Durchmesser der Sonne sich nur um den zehntausendsten Theil seiner jetzigen Grösse verringerte, dadurch hinreichend viel Wärme erzeugt würde, um die ganze Ausgabe für 2100 Jahre zu decken. Eine so geringe Veränderung des Durchmessers würde übrigens durch die feinsten astronomischen Beobachtungen nur mit Mühe erkannt werden können.

In der That hat sich seit der Zeit, von der wir historische Nachrichten haben, also seit etwa 4000 Jahren, die Temperatur der Erdoberfläche nicht merklich verringert. Wir haben aus so alter Zeit allerdings keine Beobachtungen am Thermometer, aber wir haben Angaben über die Verbreitung einiger Culturpflanzen, wie Weinstock und Oelbaum, welche gegen Aenderungen der mittleren Jahrestemperatur sehr empfindlich sind, und finden, dass diese Pflanzen noch jetzt genau dieselbe Verbreitungsgrenze haben, wie zu den Zeiten des Abraham und Homer, woraus denn rückwärts auf die Beständigkeit des Klima zu schliessen ist.

Als Gegengrund gegen diese Behauptung hatte man sich auf den Umstand berufen, dass die deutschen Ritter ehemals in Ostpreussen Wein gebaut, gekeltert und getrunken hätten, was jetzt nicht mehr möglich sei. Man wollte daraus schliessen, dass die Wärme unseres Klima seit jener Zeit abgenommen habe. Dagegen hat Dove schon Berichte alter Chronisten citirt, wonach in einigen besonders heissen Jahren das Erzeugniss der preussischen Reben etwas weniger von seiner gewöhnlichen Säure gehabt habe. Die Thatsache spricht also nicht für die Wärme des Klima, sondern nur für die Kehlen der deutschen Herren.

Aber wenn auch die Kraftvorräthe unseres Planetensystems so ungeheuer gross sind, dass sie durch die fortdauernden Ausgaben innerhalb der Dauer unserer Menschengeschichte nicht merklich verringert werden konnten, wenn sich auch die Länge der Zeiträume noch gar nicht ermessen lässt, welche vorbeigehen müssen, ehe merkliche Veränderungen in dem Zustande des Planetensystems eintreten können: so weisen doch unerbittliche mechanische Gesetze darauf hin, dass diese Kraftvorräthe, welche nur Verlust, keinen Gewinn erleiden können, endlich erschöpft werden müssen. Sollen wir darüber erschrecken? Die Menschen pflegen die Grösse und Weisheit des Weltalls danach abzumessen, wie viel Dauer und Vortheil es ihrem eigenen Geschlechte verspricht; aber schon die vergangene Geschichte des Erdballs zeigt, wie winzig der Augenblick in seiner Dauer ist, der die Existenz des Menschengeschlechtes ausgemacht hat. Ein wendisches Thongefäss, ein römisches Schwert, das wir im Boden finden, erregt in uns die Vorstellung des grauen Alterthums; was uns die Museen Europas von den Ueberbleibseln Aegyptens und Assyriens zeigen, sehen wir mit schweigendem Staunen an, und verzweifeln, uns zu der Vorstellung einer so weit zurückliegenden Zeitperiode aufzuschwingen; und doch musste das Menschengeschlecht offenbar schon Jahrtausende bestanden und sich vermehrt haben, ehe die Pyramiden, ehe Ninive gebaut werden konnten. Wir schätzen die Menschengeschichte auf 6000 Jahre; so unermesslich uns dieser Zeitraum auch erscheinen mag, wo bleibt er gegen die Zeiträume, während welcher die Erde schon eine lange Reihenfolge jetzt ausgestorbener, einst üppiger und reicher Thier- und Pflanzengeschlechter, aber keine Menschen trug; während welcher in unserer Gegend der Bernsteinbaum grünte und sein kostbares Harz in die Erde und das Meer träufelte, während in Sibirien, in Europa und im Norden Amerikas tropische Palmenhaine wuchsen.

Rieseneidechsen und später Elephanten hausten, deren mächtige Reste wir noch im Erdboden begraben finden? Verschiedene Geologen haben nach verschiedenen Anhaltspunkten die Dauer jener Schöpfungsperiode zu schätzen gesucht, und schwanken zwischen 1 und 9 Millionen von Jahren. Und wiederum war die Zeit, da die Erde organische Wesen erzeugte, nur klein gegen die, da sie ein Ball geschmolzenen Gesteins gewesen ist. Für die Dauer ihrer Abkühlung von 2000 auf 200 Grad ergeben sich, nach den Versuchen von Bischof über die Erkaltung geschmolzenen Basalts, etwa 350 Millionen Jahre. Und über die Zeit, als sich der Ball des Urnebels zum Planetensystem verdichtete, müssen unsere kühnsten Vermuthungen schweigen. Die bisherige Menschengeschichte war also nur eine kurze Welle in dem Ocean der Zeiten. Für viel lange Reihen von Jahrtausenden, länger als unser Geschlecht sie bisher erlebte, scheint der jetzige, seinem Bestehen günstige, Zustand der unorganischen Natur gesichert zu sein, so dass wir für uns und für lange, lange Reihen von Generationen nach uns nichts zu fürchten haben. Aber noch arbeiten an der Erdrinde dieselben Kräfte der Luft, des Wassers und des vulkanischen Innern, die frühere geologische Revolutionen verursacht und eine Reihe von Lebensformen nach der anderen begraben haben. Sie werden wohl eher den jüngsten Tag des Menschengeschlechtes herbeiführen, als jene weit entlegenen kosmischen Veränderungen, die wir früher besprachen, und die uns zwingen, vielleicht neuen vollkommeneren Lebensformen Platz zu machen, wie die Rieseneidechsen und Mammuths uns und unseren jetzt lebenden Mitgeschöpfen einst Platz gemacht haben.

So hat uns der Faden, den diejenigen in Dunkelheit angesponnen haben, welche dem Traume des Perpetuum mobile nachfolgten, zu einem allgemeinen Grundgesetze der Natur geführt, welches Lichtstrahlen in die fernen Nächte des Anfangs und des Endes der Geschichte des Weltalls aussendet. Auch unserem eigenen Geschlechte will dieses Gesetz ein langes, aber kein ewiges Bestehen zulassen; es droht ihm mit einem Tage des Gerichtes, dessen Eintrittszeit es glücklicher Weise noch verhüllt. Wie der Einzelne, so muss auch das Geschlecht den Gedanken seines Todes ertragen; aber es hat vor anderen untergegangenen Lebensformen höhere sittliche Aufgaben voraus, deren Träger es ist und mit deren Vollendung es seine Bestimmung erfüllt.

Ueber das Sehen des Menschen

Vortrag gehalten zu Königsberg am 27. Februar 1855

Geehrte Versammlung!

Es hat uns hier das Andenken eines Mannes vereint, welcher vielleicht mehr, als irgend ein anderer, dazu beigetragen hat, den Namen unserer Stadt unauflöslich mit der Culturgeschichte der Menschheit zu verknüpfen, das Andenken Kant's, des Philosophen. Ihm wünschen wir ein Denkmal zu setzen, welches fortan verkünden soll, dass unsere Zeit und diese Stadt eine dankbare und ehrende Erinnerung für Männer hat, denen sie wissenschaftlichen Fortschritt und Belehrung verdankt. Ihm will auch ich durch meine heutige Bemühung einen Zoll der Achtung und Verehrung darzubringen suchen. — Wie? der Naturforscher dem Philosophen? wird vielleicht mancher von Ihnen fragen, der einigermaassen mit den wissenschaftlichen Richtungen der neueren Zeit bekannt ist. Weiss man nicht allgemein, dass Naturforscher und Philosophen gegenwärtig nicht gerade gute Freunde sind, wenigstens in ihren wissenschaftlichen Arbeiten? Weiss man nicht, dass zwischen beiden lange Zeit hindurch ein erbitterter Streit geführt worden ist, der neuerdings zwar aufgehört zu haben scheint, aber jedenfalls nicht deshalb, weil eine Partei die andere überzeugt hätte, sondern, weil jede daran verzweifelte, die andere zu überzeugen? Man hört die Naturforscher sich gern und laut dessen rühmen, die grossen Fortschritte ihrer Wissenschaft in der neuesten Zeit hätten angehoben von dem Augenblicke, wo sie ihr Gebiet von den Einflüssen der Naturphilosophie ganz und vollständig gereinigt hätten. Solche unter Ihnen, welche diese Verhältnisse kennen, werden vielleicht denken, eigentlich sei es nicht ein herzlicher Antheil an der Sache, der mich heute hierher führe, sondern es seien äussere Rücksichten auf die Stadt, die Hochschule, der Kant einst angehörte, und der auch ich

gegenwärtig anzugehören die Ehre habe, vielleicht sei es auch die gewöhnliche Klugheit kämpfender Parteien, dadurch ein gutes Licht auf sich selbst zu werfen, dass sie unschädlich gewordene Gegner rühmen und ehren?

Ich aber versichere Ihnen, dass es nicht bloss äussere Rücksichten oder verdeckte Gegnerschaft sind, die mich leiten, sondern volle Anerkennung und Hochachtung. Ich habe deshalb für meinen heutigen Vortrag einen Gegenstand gewählt, an dem Sie erkennen sollen, wie die Gedanken des grossen Philosophen auch noch gegenwärtig in Zweigen der Wissenschaft fortleben und sich entwickeln, wo man es vielleicht nicht erwartet haben sollte. Die prinzipielle Spaltung, welche jetzt Philosophie und Naturwissenschaften trennt, bestand noch nicht zu Kant's Zeiten. Kant stand in Beziehung auf die Naturwissenschaften mit den Naturforschern auf genau denselben Grundlagen; er selbst interessirte sich lebhaft für Newton's Theorie der Bewegungen der Weltkörper, für dieses grossartigste Gedankenwerk, welches der menschliche Verstand bis dahin erbaut hatte, in welchem aus der einfachsten Grundlage, der allgemeinen Gravitationskraft, sich in strengster Folgerichtigkeit die unendliche Mannigfaltigkeit der himmlischen Bewegungen entwickelt, und welches gleichsam als das Vorbild für alle späteren naturwissenschaftlichen Theorien betrachtet werden kann. Ja Kant versuchte selbst, ganz in Newton's Sinne, eine Hypothese über die Entstehung unseres Planetensystems unter der Einwirkung der Gravitationskraft auszubilden, ein Versuch, der uns sogar berechtigen könnte, den Philosophen auch unter die Zahl der Naturforscher zu setzen.

Die Naturwissenschaften stehen noch jetzt fest auf denselben Grundsätzen, die sie zu Kant's Zeiten hatten, und zu deren fruchtbarer Anwendung Newton das grosse Beispiel gegeben hat; sie haben sich nur reicher entfaltet, und ihre Grundsätze an einer immer grösseren Fülle von Einzelheiten geltend gemacht. Aber die Philosophie hat ihre Stellung zu ihnen verändert. Kant's Philosophie beabsichtigte nicht, die Zahl unserer Kenntnisse durch das reine Denken zu vermehren, denn ihr oberster Satz war, dass alle Erkenntniss der Wirklichkeit aus der Erfahrung geschöpft werden müsse, sondern sie beabsichtigte nur, die Quellen unseres Wissens und den Grad seiner Berechtigung zu untersuchen, ein Geschäft, welches immer der Philosophie verbleiben wird, und dem sich kein Zeitalter ungestraft wird entziehen können.

Auch Fichte, der gewaltige Denker, welcher unter Kant's Auspicien seine wissenschaftliche Laufbahn ebenfalls in unserer Stadt begonnen hatte, so fremd und schroff er sich auch der gemeinen Anschauungsweise der Welt entgegenstellt, befindet sich, soweit ich urtheilen kann, in keinem prinzipiellen Gegensatze gegen die Naturwissenschaften, vielmehr ist es eine Darstellung der sinnlichen Wahrnehmung in der genauesten Uebereinstimmung mit den Schlüssen, welche später die Physiologie der Sinnesorgane aus den Thatsachen der Erfahrung gezogen hat, und von denen ich Ihnen einen Theil heute vorzulegen denke.

Aber als nach seinem Tode Schelling die Wissenschaft des südlichen, Hegel die des nördlichen Deutschlands beherrschte, hub der Zwist an. Nicht mehr zufrieden mit der Stellung, welche Kant ihr angewiesen hatte, glaubte die Philosophie neue Wege entdeckt zu haben, um die Resultate, zu denen die Erfahrungswissenschaften schliesslich gelangen müssten, im Voraus auch ohne Erfahrung durch das reine Denken finden zu können. Sie verzweifelte nicht, alle höchsten Fragen über Himmel und Erde, Gegenwart und Zukunft in ihr Bereich ziehen zu können. Der Gegensatz dieser Schulen gegen die wissenschaftlichen Grundsätze der Naturforschung sprach sich namentlich deutlich in der höchst unphilosophisch leidenschaftlichen Polemik Hegel's und einiger seiner Schüler gegen Newton und dessen Theorien aus. Die Naturwissenschaften, welche damals neben dem überwiegend philosophischen Interesse der Gebildeten in Deutschland wenig gepflegt waren, unterlagen meistens. Wer sollte nicht den kurzen, selbstschöpferischen Weg des reinen Denkens der mühevollen, langsam fortschreitenden Tagelöhnerarbeit der Naturforschung vorzuziehen geneigt sein? Wenige ehrenvolle Ausnahmen unter den deutschen Naturforschern, Humboldt, Erman, Pfaff, kämpften beharrlich, aber vereinzelt gegen das, was man Philosophie der Natur nannte, bis endlich der grosse Aufschwung der Naturwissenschaften in den europäischen Nachbarländern auch Deutschland mit sich fortriss.

Die Philosophie hatte Alles in Anspruch nehmen wollen; jetzt ist man kaum noch geneigt, ihr einzuräumen, was ihr wohl mit Recht zukommen möchte. Aber darf es uns wundern, wenn auf die überfliegenden Hoffnungen tiefe Niedergeschlagenheit folgte; wenn man die jüngsten Systeme der Philosophie mit der Philosophie überhaupt verwechselte, und das Misstrauen gegen jene auf die ganze Wissenschaft übertrug?

Der Punkt, an dem sich Philosophie und Naturwissenschaften am nächsten berühren, ist die Lehre von den sinnlichen Wahrnehmungen des Menschen. Ich will mich daher bemühen, Ihnen die Resultate der Naturwissenschaften für das Sinnesorgan darzulegen, dessen Verrichtungen bisher am vollständigsten untersucht werden konnten; dieses Organ ist das Auge. Sie werden dann selbst urtheilen können, in welchem Verhältnisse hier die Ergebnisse der Erfahrung zu denen der Philosophen stehen.

Das Auge ist ein von der Natur gebildetes optisches Instrument, eine natürliche Camera obscura. Ich setze voraus, dass der grösste Theil meiner Zuhörer schon Daguerre'sche oder photographische Bilder hat anfertigen sehen, und sich das Instrument ein wenig betrachtet hat, welches dazu gebraucht wird. Dieses Instrument ist eine Camera obscura. Sein Bau ist ausserordentlich einfach; es ist im Wesentlichen nichts als ein innen geschwärzter Kasten von Holz, an dessen einer Seite eine Glaslinse eingesetzt ist, und auf dessen entgegengesetzter Seite sich eine mattgeschliffene Glastafel befindet. Wenn die Seite des Kastens, welche die Linse enthält, nach irgend einem gut beleuchteten entfernteren Gegenstande hingewendet wird, sieht man ein verkleinertes, bei richtiger Einstellung des Instrumentes, sehr scharf gezeichnetes und mit den natürlichen Farben geschmücktes, aber auf dem Kopfe stehendes Bild des Gegenstandes auf der matten Glastafel entworfen. Nachdem der Photograph seinem Instrumente die richtige Stellung gegeben hat, entfernt er die Glastafel, und bringt an ihre Stelle die bearbeitete Silberplatte, so dass sich auf dieser dasselbe Bild entwirft, wie vorher auf der Glasplatte. Auf der Silberplatte bleibt das Bild sichtbar erhalten, weil ihre Oberfläche an den helleren Theilen des Bildes durch die Einwirkung des Lichtes eigenthümlich verändert wird. Die allgemein bekannten Lichtbilder sind also in der That nur fixirte Bilder einer Camera obscura.

Ein eben solches Instrument ist nun das Auge; der einzige wesentliche Unterschied von demjenigen, welches beim Photographiren gebraucht wird, besteht darin, dass, statt der matten Glastafel oder lichtempfindlichen Platte, im Hintergrunde des Auges die empfindliche Nervenhaut oder Netzhaut liegt, in welcher das Licht Empfindungen hervorruft, die durch die im Sehnerven zusammengefassten Nervenfasern der Netzhaut dem Gehirn, als dem körperlichen Organe des Bewusstseins, zugeführt werden. In der äusseren Form weicht die natürliche Camera obscura von

der künstlichen wohl ab. Statt des viereckigen Holzkastens finden Sie den runden Augapfel, dessen feste Wand von einer weissen Sehnenhaut gebildet wird, deren vorderen Theil wir auch am lebenden Menschen als das Weisse des Auges erblicken. Die schwarze Farbe, mit der der Kasten der Camera obscura innen ausgestrichen ist, ersetzt am Auge eine zweite, feinere, braunschwarz gefärbte Haut, die Aderhaut. Von ihr sehen wir am lebenden Auge ebenfalls nur das vordere Ende, nämlich die Iris, den blauen oder braunen Kreis, welcher die mittlere dunkelschwarze Oeffnung, die Pupille, umgiebt. Die Iris ist auf ihrer hinteren Seite tief schwarz, wie die übrige Aderhaut, auf der vorderen Seite aber, welche wir erblicken, liegen ungefärbte oder wenig gefärbte Schichten. Die blaue Farbe der Iris entsteht nicht durch einen besonderen Farbstoff, sondern hat denselben Grund, wie die blaue Farbe verdünnter Milch, sie ist weisslichen trüben Mitteln eigenthümlich, welche vor einem dunkeln Grunde stehen. Die braune Farbe der Iris entsteht dagegen durch Ablagerung kleiner Mengen desselben braunschwarzen Farbstoffes in den vorderen Schichten der Iris, welcher ihre hintere Fläche bedeckt. Daher kann die Färbung auch wechseln, wenn mit der Zeit sich Farbstoff in der Iris ablagert. Schon Aristoteles berichtet, dass alle Kinder mit blauen Augen geboren würden, auch wenn sie später braune bekämen. Sie sehen, dass in alter Zeit auch die Philosophen zu beobachten wussten.

Der schwarze Kreis in der Mitte des braunen oder blauen Kreises, die sogenannte Pupille, ist also eine Oeffnung, durch welche das Licht in den hinteren Theil des Auges eindringt. Ist die Lichtmenge zu gross, so wird die Pupille enger, ist sie sehr gering, so wird sie weiter. Vor der Pupille liegt uhrglasförmig gewölbt die durchsichtige Hornhaut, deren Oberfläche durch die über sie hinsickernde Thränenfeuchtigkeit und das Blinzeln der Augenlider stets spiegelblank erhalten wird. Hinter der Pupille liegt noch ein sehr klarer, durchsichtiger, linsenförmiger Körper, die Krystalllinse, dessen Anwesenheit im lebenden Auge nur schwache Lichtreflexe verrathen. Das Innere des Auges ist übrigens mit Flüssigkeit gefüllt. Die Krystallinse im Verein mit der gekrümmten Fläche der Hornhaut vertritt im Auge die Stelle der Glaslinse in der Camera obscura des Photographen. Sie entwerfen verkleinerte, natürlich gefärbte, aber auf dem Kopfe stehende Bilder der äusseren Gegenstände auf der Fläche der Netzhaut, welche

letztere im Hintergrunde des Auges vor der Aderhaut lie
die Netzhaut des lebenden Auges zu sehen, habe ich vor
Jahren ein kleines optisches Instrument, den Augenspiege
struirt, mit dem man nun auch die Netzhautbilder im Aug
Anderen direct sehen und sich von ihrer Schärfe, Stellung
überzeugen kann.

Wir sagten vorher, der Photograph müsse sein Inst
für den Gegenstand, den er abbilden will, richtig einstell
der That findet man bei genauer Betrachtung der Bilder
Camera obscura, dass, wenn ferne Gegenstände mit scharf
rissen abgebildet werden, nähere verwaschen erscheinen, u
gekehrt. Der Photograph muss die Linse seines Instrumer
Tafel, auf der das Bild entworfen wird, etwas näher rücke
er ferne Gegenstände, er muss sie etwas entfernen, wenn
abbilden will. Etwas Aehnliches kommt beim Auge vor
Sie nicht gleichzeitig ferne und nahe Gegenstände deutlicl
davon überzeugen Sie sich am leichtesten und besten, w
einen Schleier etwa sechs Zoll von den Augen entfernt
und das eine Auge schliessen. Sie können dann willkürl
ohne die Richtung des Blickes zu ändern, bald durch den
hin ferne Gegenstände betrachten, wobei Ihnen der Schle
noch als eine verwaschene Trübung des Gesichtsfeldes er
Sie aber nicht die einzelnen Fäden des Schleiers erkenne
Sie können die Fäden des Schleiers betrachten, wobei S
nicht mehr die Gegenstände des Hintergrundes deutl
kennen. Man fühlt bei diesem Versuche eine gewisse Anst
im Auge, indem man von einem zum anderen Gesicht
übergeht. In der That wird dabei die Form der Krys
durch besondere, im Auge liegende Muskelapparate wil
geändert. Diese Veränderung, vermöge deren das Aug
willkürlich bald für nahe, bald für ferne Gegenstände ein
kann, nennt man die Accommodation für die Näh
die Ferne. Auch die Veränderungen der Bilder bei verä
Accommodation kann man durch den Augenspiegel direc
achten.

Ich verweile hier noch einen Augenblick dabei, was
Bewenden es mit dem optischen Bilde im Auge und n
optischen Bildern überhaupt habe. Lichtstrahlen, welc
einem durchsichtigen Mittel in ein anderes übergehen, z.
Luft in Glas, oder aus Luft in die Augenflüssigkeiten,
n ihrer früheren Richtung abgelenkt, sie werden „gebro

wenn sie nicht gerade senkrecht gegen die Trennungsfläche auffallen. Die Glaslinse der Camera obscura und die durchsichtigen Mittel des Auges verändern nun den Weg der Lichtstrahlen, welche von einem lichten Punkte eines abgebildeten Gegenstandes ausgegangen sind, so, dass sie alle in einem Punkte, dem entsprechenden Punkte des Bildes, sich wieder vereinigen. Liegt dieser Vereinigungspunkt der Lichtstrahlen in der Fläche der Netzhaut, so wird dieser Punkt der Netzhaut von allem Lichte getroffen, welches von dem entsprechenden Punkte des Gegenstandes her in das Auge fällt, und nichts von diesem Lichte fällt auf andere Theile der Netzhaut. Ebenso wenig wird aber auch jener Punkt von Licht getroffen, welches von irgend einem anderen Punkte des Gegenstandes ausgegangen wäre. Also der betreffende Punkt der Netzhaut empfängt alles Licht, und nur das Licht, welches von dem entsprechenden Punkte des abgebildeten Gegenstandes her in das Auge gefallen ist. Sendet dieser Punkt des Gegenstandes viel Licht aus, so wird der entsprechende Punkt der Netzhaut stark beleuchtet, sendet er wenig aus, so wird der letztere dunkel sein. Sendet der eine Punkt rothes Licht aus, so wird der andere Punkt roth, wenn grünes, grün beleuchtet sein u. s. w. So entspricht also jedem Punkte der Aussenwelt ein besonderer Punkt des Bildes, der eine entsprechende Stärke der Beleuchtung und die gleiche Farbe hat, und so entspricht insbesondere im Auge beim deutlichen Sehen jeder einzelne Punkt der Netzhaut einem einzelnen Punkte des äusseren Gesichtsfeldes, so dass er nur von dem Lichte, welches von diesem äusseren Punkte hergekommen ist, getroffen, und zur Empfindung angeregt wird. Da somit jeder einzelne Punkt des Gesichtsfeldes durch sein Licht nur einen einzelnen Punkt der empfindenden Nervensubstanz affizirt, so kann auch für jeden äusseren Punkt gesondert zum Bewusstsein kommen, welche Menge und Farbe des Lichtes ihm angehört. Es wird durch diese Einrichtung des Auges, als eines optischen Apparates, möglich, die verschiedenen hellen Gegenstände unserer Umgebung gesondert wahrzunehmen, und je vollkommener der optische Theil des Auges seinen Zweck erfüllt, desto schärfer ist die Unterscheidung der Einzelheiten des Gesichtsfeldes.

Auf diesen physikalischen Theil der Vorgänge des Sehens, den ich nur als die Grundlage für das Verständniss des Folgenden berühren musste, will ich hier nicht weiter eingehen, so mannigfache interessante Fragen und Thatsachen er auch dar-

bietet. Nur eines will ich erwähnen als Beispiel, wie unser Bild von der Aussenwelt auch durch den Bau des physikalischen Theiles unseres Auges bestimmt wird. Die Sterne erscheinen uns strahlig; „sternförmig“ ist in unserer Sprache von gleicher Bedeutung wie „strahlig“. In Wahrheit sind die Sterne von runder Gestalt, und meist so klein, dass wir überhaupt von ihrer Gestalt nichts erkennen können, sie müssten uns als untheilbare Punkte erscheinen. Die Strahlen bekommt das Bild des Sternes aber weder in dem Weltenraume, noch in unserer Atmosphäre, sondern damit wird es erst in unserer Krystallinse geschmückt, welche einen strahligen Bau hat; die Strahlen, die wir den Sternen zuertheilen, sind also in Wahrheit Strahlen unserer Krystallinse.

Wir sind also jetzt soweit gekommen, dass auf der Fläche der Netzhaut ein optisches Bild entworfen wird, wie es auch in jeder Camera obscura geschieht. Aber die letztere sieht dieses Bild nicht, das Auge sieht es. Worin liegt da der Unterschied? Er liegt darin, dass die Netzhaut, welche im Auge das optische Bild empfängt, ein empfindlicher Theil unseres Nervensystems ist, und dass durch die Einwirkung des Lichtes, als eines äusseren Reizes, in ihr Lichtempfindung hervorgerufen wird. Was wissen wir nun über die Erregung der Lichtempfindung durch das Licht?

Die ältere und scheinbar natürlichste Ansicht war, dass die Netzhaut des Auges eine viel grössere Empfindlichkeit habe, als irgend ein anderer Nervenapparat des Körpers, und deshalb auch die Berührung selbst eines so feinen Agens, wie das Licht, empfinde. Dass die Art des Eindruckes, den das Licht auf das Auge macht, so ganz verschieden ist von der Tonempfindung, von der Wärmeempfindung, von den Empfindungen der Haut für Hartes, Weiches, Rauhes, Glattes u. s. w., schien sich einfach dadurch zu erklären, dass das Licht eben etwas anderes sei, als der Ton, die Wärme, als ein harter oder weicher, rauher oder glatter Körper, und man fand es in der Ordnung, dass jedes Ding, je nach seinen verschiedenen Eigenschaften, auch eigenthümlich empfunden werde.

Dabei waren nun allerdings einige unbequeme Erscheinungen vorhanden, die man gern als unbedeutend bei Seite liegen liess, und nicht beachtete. Wenn man das Auge drückt oder schlägt, treten Lichterscheinungen auf, auch in der tiefsten Dunkelheit. Elektrische Ströme, durch das Auge geleitet, erzeugen ebenfalls

Lichterscheinungen. Ja wir brauchen so gewaltsame Mittel nicht einmal anzuwenden; wer im vollständigsten Dunkel mit geschlossenen Augen Aufmerksamkeit auf sein Gesichtsfeld wendet, bemerkt darin allerlei wunderliche krause, gesternte oder streifige, verschiedenfarbige Figuren, die fortdauernd wechseln, und ein phantastisches regelloses Spiel ausführen; sie werden heller und schöner gefärbt, wenn man das Auge reibt, oder wenn erregende Getränke oder Krankheiten das Blut zum Kopfe treiben, aber sie fehlen niemals ganz. Man nennt sie den Lichtstaub des dunkeln Gesichtsfeldes.

Als man sich zuerst die Mühe nahm, diese Erscheinungen zu beachten und sie erklären zu wollen, meinte man, hier könne wohl durch innere Prozesse Licht im Auge erzeugt werden. Man erklärte dies durch eine geheimnissvolle Verwandtschaft des Nervenfluidum der Netzhaut mit dem Lichte, vermöge deren eine Erregung des einen auch das andere erzeugen könne. Die leuchtenden Augen der Katzen und Hunde schienen den Beweis der Möglichkeit zu liefern, sie schienen selbständig Licht zu erzeugen; sie sollten besonders hell leuchten, wenn man diese Thiere zum Zorn reizte, also eine Erregung des Nervensystems hervorbrächte. Man glaubte so das in ihrem Auge entwickelte Licht selbst beobachten zu können.

Es wird Ihnen gleich aus der deutschen Volkssage ein Bekenner dieser Ansicht einfallen, der berühmteste aller deutschen Jäger, Herr v. Münchhausen, der nach Verlust des Feuersteins von seiner Flinte sich von einem Bären verfolgt sah, und mit seiner bekannten Geistesgegenwart und Genialität ein unerwartetes Auskunftsmittel traf. Er legte an, zielte, schlug sich mit der Faust in das Auge, dass es Funken sprühte: das Pulver zündete, der Bär war todt. Aber ernsthafte Verlegenheit bereitete ein gerichtlicher Fall, wo der Kläger in einer dunkeln Nacht einen Schlag ins Auge bekommen hatte, und bei dem dadurch erregten Lichtscheine die Person des Angreifers erkannt haben wollte. War die eben ausgeführte physiologische Ansicht richtig, so musste auch die Aussage dieses Mannes für glaublich gehalten werden. Die Theorie von der Lichtentwickelung im Auge wurde also vor Gericht gezogen, und wir sind deshalb so glücklich, ausser den übrigen Gründen, welche gegen sie sprechen, auch durch richterlichen Spruch ihre Verwerflichkeit bestätigt zu sehen.

Eine genauere Prüfung gab der Sache ein ganz anderes Ansehen. Erstens fand sich die vorausgesetzte grosse Empfindlich-

keit des Sehnerven gar nicht bestätigt, im Gegentheil schien dessen Verletzung so gut wie gar keinen Schmerz hervorzubringen, während die Verletzung eines anderen, ebenso starken Hautnerven des Körpers von überwältigendem Schmerze begleitet ist. In einzelnen beklagenswerthen Krankheitsfällen muss der Augapfel entfernt werden, um das Leben des Kranken zu retten. Dann hat der Operirte im Augenblicke der Durchschneidung des Sehnerven keinen Schmerz, sondern er glaubt einen Lichtblitz zu sehen.

Ferner stellten sorgfältig angestellte Untersuchungen übereinstimmend heraus, dass die sogenannten leuchtenden Thieraugen in absoluter Dunkelheit niemals leuchteten, sondern dass ihr Leuchten immer nur durch Zurückwerfung von äusserem Lichte entsteht. In der That findet sich im Hintergrunde dieser Augen statt des schwarzen Färbstoffs eine helle, schillernd gefärbte Stelle, das sogenannte Tapetum, welche im Stande ist, das eingefallene Licht lebhaft zurückzuwerfen. Ja später hat **Brücke** gelehrt, wie man bei passender Beleuchtung auch die Pupille des menschlichen Auges roth erleuchtet, gleich einer glühenden Kohle erscheinen lassen kann, und der Gebrauch des Augenspiegels beruht gerade auf dieser Thatsache. Ebenso wenig ist jemals etwas von Licht in dem Auge eines Anderen zu sehen, während dieser selbst in Folge von Druck, elektrischer Ströme oder anderer Ursachen die lebhaftesten Lichtblitze wahrnimmt. Wir können also in diesen Fällen nicht zweifeln, dass Lichtempfindung stattfindet, ohne durch wirkliches Licht angeregt zu sein. Wir wissen aber, dass die Mittel, durch welche wir im Auge Lichtempfindung erregen, Stoss, Druck, mechanische Misshandlung oder elektrische Ströme, wenn sie auf irgend einen Nervenapparat wirken, immer dessen Thätigkeit erregen; wir nennen sie deshalb **Reizmittel** für die Nerven, und können also den allgemeinen Satz aussprechen: Die gewöhnlichen Reizmittel der **Nerven** erregen, auf die Sehnerven wirkend, **Lichtempfindung**, ganz wie das wirkliche Licht, und, können wir hinzusetzen, wenn wir an die Operirten denken, sie erregen im Sehnerven keine andere Empfindung als **Lichtempfindung** allein.

Wenn wir dieselben Reize auf andere Nerven einwirken lassen, entsteht niemals Lichtempfindung, sondern im Hörnerven werden Schallempfindungen hervorgerufen, in den Hautnerven Tastempfindungen oder Wärmegefühl, von den Muskelnerven aus gar

keine Empfindungen, wohl aber Muskelzuckungen. Nur wenn sie auf das Auge wirken, erregen alle diese Reize Lichtempfindung. Am reichsten ist das Gebiet der Empfindungen, welche durch strömende Elektricität im Körper hervorgerufen werden, weil man die Elektricität leicht auf die meisten Nervenapparate einwirken lassen und diese sehr kräftig erregen kann. Im Auge wird der Anfang des elektrischen Stromes durch einen Lichtblitz bezeichnet, dem eine mildere Erhellung des Gesichtsfeldes folgt, je nach der Richtung des Stromes, hellblau oder rothgelb. Bei Unterbrechung des Stromes folgt wieder ein Lichtblitz. Auf der Zunge ruft der Strom, je nach der Richtung, sauren oder bitterlich laugenhaften Geschmack hervor, auf der Haut Brennen und Fressen, im Innern der Glieder Zuckungen u. s. w.

Wie schade ist es, werden Sie vielleicht denken, dass die übrigen Nervenapparate unseres Körpers gegen das Licht unempfindlich sind. Es würde doch interessant sein, zu erfahren, welche Empfindungen das Licht anderswo erregt? Nach unseren gewöhnlichen Vorstellungen können wir nicht anders glauben, als dass wir das Licht nur mit dem Auge, und nicht mit der Hand empfinden. Aber lassen Sie uns nachdenken. Soviel wird Ihnen schon wahrscheinlich geworden sein, dass das Licht, wenn es von der Hand empfunden werden könnte, in ihr nicht dieselbe Art von Empfindung hervorrufen würde, wie im Auge. Nun lassen Sie einmal Sonnenstrahlen auf die Hand fallen. Werden Sie diese nicht fühlen? „Ja“, werden Sie antworten, „ich fühle sie wohl; aber was ich fühle ist Sonnenwärme, nicht Licht; die Wärme ist immer mit dem Lichte verbunden.“ Gut, ich verdenke Ihnen diese Antwort nicht, denn die überwiegende Mehrzahl der Physiker hat bis auf die letzten zwanzig Jahre auch so geantwortet. Wenn aber das Licht immer von Wärme begleitet ist, so wäre doch die Frage aufzuwerfen, ob Wärme und Licht nicht etwa nur die verschiedenen Aeusserungen eines und desselben Principes seien. Die Physik hat diese Frage einer sorgfältigen Prüfung unterzogen und ist bis jetzt zu der Ansicht gekommen, dass bei einfachem, einfarbigem Lichte, wie wir es mittelst durchsichtiger Prismen aus dem Sonnenlicht ausscheiden können, das Erwärmungsvermögen mit dem Erleuchtungsvermögen unzertrennlich verbunden ist; dass, wenn eines von beiden abnimmt, das andere in demselben Verhältnisse vermindert wird, wie es eben sein muss, wenn Wärme und Licht nur die Wirkungen desselben

Agens sind. Bei Licht verschiedener Art, d. h. von versch
Farbe, sind Erwärmungsvermögen und Erleuchtungsverm
sehr verschiedenem Grade verbunden. Gelbes Licht wä
gleicher Helligkeit mehr als blaues, rothes mehr als
An die rothen Strahlen endlich schliessen sich im Sonnens
Strahlungen an, welche zwar wärmen, aber gar nicht l
die dunklen Wärmestrahlen. Sie sind in allen rein physik
Beziehungen den leuchtenden Strahlungen ähnlich, nur
Wirkung auf das menschliche Auge unterscheiden sie s
ihnen. Heisse Oefen strahlen solche dunkle Wärme
der sich auch leuchtende Wärmestrahlen gesellen könne
die Temperatur bis zur Rothgluth steigt.

Somit bliebe als Unterschied zwischen Wärme un
nichts weiter übrig, als die verschiedene Empfindung,
sie erregen, je nachdem sie die Haut oder das Auge
dort erregen sie das Gefühl von Wärme, hier das vo
Dürfen wir nun aus diesen verschiedenen Wirkungen sc
dass sie zwei verschiedenen physikalischen Agentien entsp
Wohl kaum, wenn wir das erwägen, was ich von d
schiedenen Wirkungen des elektrischen Stromes und der
nischen Reizung auf verschiedene Nerven gesagt hab
Strahlung der leuchtenden und der heissen Körper, — die
hält sie für eine schwingende Bewegung eines über
breiteten elastischen Stoffes, des Lichtäthers, — die
schwingungen also sind ebenfalls in die Reihe der Re
unserer Nerven einzuschliessen und bringen, wie alle
Reize, verschiedene Eindrücke hervor, wenn sie auf versc
Nerven einwirken, Eindrücke, welche jedes Mal dem bes
Kreise von Empfindungen des besonderen Nervenapparate
hören.

So kommen wir zu der von Johannes Mülle
gestellten Lehre von den specifischen Sinnesenergien,
deutsamsten Fortschritte, den die Physiologie der Sinne
in neuerer Zeit gemacht hat. Danach hängt die
unserer Empfindungen, ob sie Licht, Wärme, Ton, o
schmack u. s. w. sei, nicht ab von dem wahrgeno
äusseren Objecte, sondern von dem Sinnesnerven, welc
Empfindung vermittelt. Lieben Sie paradoxe Ausdrü
können Sie sagen: Licht wird erst Licht, we
ein sehendes Auge trifft, ohne dieses ist es nur
schwingung.

Aehnlich verhält es sich mit den Modificationen der Lichtempfindung, den Farben. Aetherschwingungen von verschiedener Schwingungsgeschwindigkeit erregen Empfindungen verschiedener Farben, die schnelleren die des Violett, die langsameren, in der Ordnung wie ihre Dauer zunimmt, die Empfindung des Blau, Grün, Gelb, Orange, Roth. Wenn Licht von verschiedener Farbe gemischt wird, erregt es den Eindruck einer neuen Farbe, einer Mischfarbe, welche stets weisslicher und weniger gesättigt ist, als die einfachen Farben, aus denen sie zusammengesetzt wurde. Mischfarben von ganz gleichem Aussehen können aber auf die verschiedenste Weise zusammengesetzt sein, und ihre Aehnlichkeit besteht dann nur für das Auge, in irgend einer anderen physikalischen Beziehung ist sie nicht vorhanden.

Dass die Art unserer Wahrnehmungen ebensosehr durch die Natur unserer Sinne, wie durch die äusseren Objecte bedingt sei, wird durch die angeführten Thatsachen sehr augenscheinlich und ist für die Theorie unseres Erkenntnissvermögens von der höchsten Wichtigkeit. Gerade dasselbe, was in neuerer Zeit die Physiologie der Sinne auf dem Wege der Erfahrung nachgewiesen hat, suchte Kant schon früher für die Vorstellungen des menschlichen Geistes überhaupt nachzuweisen, indem er den Antheil darlegte, welchen die besonderen eingeborenen Gesetze des Geistes, gleichsam die Organisation des Geistes, an unseren Vorstellungen haben. Die neuere Philosophie dagegen, ausgehend von der Annahme der Identität der Natur und des Geistes, suchte diese Gesetze des Geistes auch zu Gesetzen der Wirklichkeit zu machen und musste demgemäss auch versuchen, die Gleichheit unserer Sinnesempfindungen mit den wirklichen Eigenschaften der wahrgenommenen Körper nachzuweisen. Darum namentlich ward sie zur Vertheidigerin von Goethe's Farbenlehre. Dass der Streit über diese Lehre wesentlich diesen Sinn hat, habe ich bei einer anderen Gelegenheit [1]) darzulegen gesucht.

So entsteht also durch das äussere Licht die Lichtempfindung, welche dann durch die Fasern des Sehnerven dem Gehirne zugeleitet wird und hier zum Bewusstsein gelangt. Aber Lichtempfindung ist immer noch kein Sehen. Zum Sehen wird die Lichtempfindung

---

[1]) Siehe meinen Vortrag über Goethe's naturwissenschaftliche Arbeiten, S. 1 dieses Bandes.

erst, insofern wir durch sie zur Kenntniss der Gegenstände der Aussenwelt gelangen; das Sehen besteht also erst im Verständniss der Lichtempfindung. Die vornehmste Thatsache, welche uns in diesem psychologischen Gebiete unserer Untersuchung entgegentritt, ist die: Jede Lichtempfindung veranlasst die Vorstellung von etwas Hellem vor uns im Gesichtsfelde. Das scheint sehr einfach und natürlich zu sein, da ja doch Lichtempfindung immer von Licht angeregt wird. Immer? Das ist nicht genau gesprochen. Ich habe vorher schon angeführt, dass auch durch andere Reize, welche den Sehnerven und die Netzhaut treffen, Lichtempfindung erregt wird. Auch in diesen Fällen entsteht in uns die Vorstellung, dass dieses Licht aus dem vor uns liegenden Raume komme. Lassen wir bei offenen Augen von der Stirn zum Nacken einen elektrischen Strom gehen, der dabei auch den Sehnerven reizt, so glauben wir einen Lichtblitz zu sehen, welcher die vor uns liegenden Körper erhellt, obgleich der elektrische Strom in diesem Falle gar kein objectives Licht, keine Aetherschwingungen, weder im Auge noch in der Aussenwelt, erzeugt. In diesem Falle wird die Sinnesempfindung zur Sinnestäuschung. Das Sinnesorgan täuscht uns dabei nicht, es wirkt in keiner Weise regelwidrig, im Gegentheil, es wirkt nach seinen festen, unabänderlichen Gesetzen und kann gar nicht anders wirken. Aber wir täuschen uns im Verständniss der Sinnesempfindung.

Ferner ruft die Reizung einer bestimmten Stelle der Netzhaut die Vorstellung eines leuchtenden Körpers an einer bestimmten Stelle des vor uns liegenden Raumes hervor. Ich habe Ihnen vorher auseinandergesetzt, dass Licht, welches von einem bestimmten Punkte des Gesichtsfeldes ausgeht, beim deutlichen Sehen nur einen Punkt unserer Netzhaut trifft; deshalb verlegen wir den Ursprung aller Lichtempfindung, welche in einem solchen Punkte der Netzhaut entsteht, stets an die correspondirende Stelle des äusseren Gesichtsfeldes. Drücken Sie mit dem Nagel am äusseren Augenwinkel, so entsteht ein kleiner Lichtschein. Sie werden ihn vielleicht zuerst gar nicht bemerken, weil Sie ihn da suchen, wo Sie drücken. Weit gefehlt! Gerade an der entgegengesetzten Seite des Gesichtsfeldes, in der Nähe des Nasenrückens erscheint er, als ein kleiner heller Kreis. Drücken Sie unter dem Augenbrauenrande der Augenhöhle auf das Auge, so erscheint der Lichtschein in der Gegend des unteren Lides; kurz, an welcher Seite des Auges Sie auch

drücken, der Lichtschein erscheint immer an der entgegengesetzten Seite.

Die Erklärung der Erscheinung geht schon aus dem Vorhergesagten hervor. Kehren wir zurück zu dem Falle, wo wir am äusseren Augenwinkel drücken und der Lichtschein am Nasenrücken erscheint. Es werden hier durch den Druck dieselben Punkte der Netzhaut gereizt, welche Licht vom Nasenrücken her zu bekommen pflegen, denn das Bild auf der Netzhaut ist umgekehrt, und das Bild des Nasenrückens wird auf der äusseren Seite der Netzhaut entworfen. Lassen wir uns also verleiten, von der Reizung der Netzhaut durch den Druck des Fingernagels auf das Vorhandensein von Licht zu schliessen, so ist es auch nur folgerichtig, dass wir dies Licht von derselben Stelle des Raumes herkommen lassen, von welcher das wirkliche Licht herkommt, wenn es die betreffende Stelle der Netzhaut trifft. In der Erfahrung unseres ganzen Lebens haben wir aber den Ursprung des Lichtes, welches die äussersten Theile der Netzhaut trifft, am Nasenrücken gesucht und gefunden, und unsere Vorstellung verlegt also frisch weg auch das scheinbare Licht des Druckes an dieselbe Stelle. Dass unsere Vorstellung so verfährt, werden wir natürlich und begreiflich finden, aber auf einen auffallenden Umstand möchte ich hier aufmerksam machen, der wohl geeignet ist, Ueberraschung zu erregen.

Wir haben nämlich unsere Vorstellung auf einem Fehlschlusse ertappt; wir haben auch wissenschaftlich eingesehen, wie sie dazu gekommen ist, und wie die Sache sich eigentlich verhält; wir wissen, unsere Vorstellung hat eine Schlussfolgerung, welche sich Millionen Male als richtig erwies, unrichtiger Weise auf einen Fall angewendet, auf den sie nicht passt. Nun sollte unsere Vorstellung doch billiger Weise ein Einsehen haben und uns nicht mehr das falsche Bild eines Lichtscheins auf dem Nasenrücken vorspiegeln, sondern den Lichtschein dahin verlegen, wo die Lichtempfindung erregt ist. Wir wiederholen den Versuch nun mit der wissenschaftlich gesicherten Ueberzeugung, die Lichtempfindung finde am äusseren Augenwinkel statt. Hat sich unsere Vorstellung belehren lassen? Wir werden gestehen müssen, nein. Sie beträgt sich wie der ungelehrigste aller Schüler, sie lässt die arme Lehrerin Wissenschaft reden, so lange sie will, und bleibt hartnäckig bei ihrer Aussage stehen, der Lichtschein sitze doch auf dem Nasenrücken.

So ist es auch bei allen anderen Sinnestäuschunge
welchen ich noch reden werde. Sie verschwinden niem
durch, dass wir ihren Mechanismus einsehen, sondern blei
ungestörter Kraft bestehen.

Eine andere Reihe von Täuschungen über den Ort
sehenen Gegenstandes entsteht, wenn das Licht nicht un
von dem Gegenstande zum Auge gelangen konnte, sond
spiegelnde oder lichtbrechende Körper gestossen ist. I
kannteste Fall dieser Art ist die Spiegelung an den gewöh
ebenen Spiegeln. Das Licht, welches auf einen Spieg
wird von diesem so zurückgeworfen, als käme es von
ständen her, die ebenso weit hinter der Spiegelebene lieg
die wirklich vorhandenen Gegenstände vor ihr. Fällt
spiegelte Bild in das Auge, so wird es in diesem natürlich
gebrochen, und trifft eben dieselben Netzhautpunkte, wie
thun würde, welches von wirklichen Körpern ausgegange
die an dem scheinbaren Orte der optischen Bilder des
sich befänden. Unsere sinnliche Vorstellung construirt si
auch sogleich die den Spiegelbildern entsprechenden wi
Körper und legt ihnen denselben Grad von Bestimmth
Evidenz bei, wie den direct gesehenen Körpern. Auch hie
sich die scheinbare Lebhaftigkeit und die scheinbare rä
Lage des Bildes, trotzdem unser Verstand von seiner
Existenz überzeugt ist.

Aehnlich verhält es sich mit dem Fernrohr un
Mikroskop. In ihren Gläsern wird das Licht derart geb
dass es, wenn es das Instrument verlassen hat, weiter g
käme es von einem vergrösserten Gegenstande her, und
obachter, welcher durch das Instrument sieht, glaubt nun
diesen vergrösserten Gegenstand zu sehen.

Nach der Stelle unserer Netzhaut, in welcher Lichtemp
angeregt wird, beurtheilen wir also, in welcher Richtung
schiedenen hellen Gegenstände, die uns umgeben, sich b
in welche Theile des Gesichtsfeldes wir sie zu setzen
Wir erhalten dadurch ein perspectivisches Bild der Aus
wie auch das optische Bild auf unserer Netzhaut ein
perspectivisches Bild ist. Ein richtiges perspectivisches B
Gegenständen, die eine regelmässige, uns wohl bekannt
haben, lässt uns allerdings auch ein ziemlich gutes Urth
die Tiefendimensionen der dargestellten Gegenstände
namentlich wenn noch eine richtige Beleuchtung und S

gebung hinzukommt. Deshalb genügen gute perspectivische Zeichnungen von Maschinentheilen, von Gebäuden u. s. w., weil wir wissen, dass die Zeichnung Gegenstände von regelmässiger, kugeliger, cylindrischer oder prismatischer Grundgestalt darstellen soll. Bei unregelmässig gebildeten Gegenständen dagegen gewähren die perspectivischen Zeichnungen nur sehr unvollkommene Anschauung der Tiefendimension. In der Landschaftsmalerei hilft noch die sogenannte Luftperspective, d. h. die Veränderung des Farbentones und der Klarheit der Umrisse, welche durch die dazwischenliegenden Luftschichten verursacht wird. Wodurch unterscheidet sich nun eine perspectivische Zeichnung von der directen Ansicht des Gegenstandes selbst, welche uns unsere Augen liefern, und warum erkennen wir beim directen Sehen die körperlichen Verhältnisse so sehr viel besser und sicherer?

Die Antwort liefert uns ein optisches Instrument, welches in den letzten Jahren ein beliebter Gegenstand der Unterhaltung für das Publicum geworden ist, nämlich das von dem englischen Physiker Wheatstone erfundene Stereoskop. Dieses Instrument giebt perspectivischen Zeichnungen die vollste Lebendigkeit der Tiefenanschauung, selbst solchen Zeichnungen, an denen man bei der directen Betrachtung durchaus nicht entscheiden kann, welche Theile vorne, welche hinten liegen sollen, und um wie viel der eine Theil hinter dem anderen liegt.

Die Principien des Stereoskops sind einfach folgende: Wenn wir irgend einen Gegenstand, eine Landschaft, ein Zimmer oder dergleichen betrachten, dessen verschiedene Theile in verschiedener Entfernung liegen, so gewinnen wir von verschiedenen Standpunkten verschiedene Ansichten. Diejenigen Gegenstände des Vordergrundes, welche, von dem ersten Standpunkte gesehen, irgend eine bestimmte Stelle des Hintergrundes bedeckten, decken vom zweiten Standpunkte aus andere Stellen. Flächen, die vom ersten Standpunkte stark verkürzt erschienen, erscheinen vom zweiten weniger verkürzt, und umgekehrt. Wenn wir also von zwei verschiedenen Standpunkten aus perspectivische Ansichten desselben körperlich ausgedehnten Gegenstandes aufnehmen, so sehen diese Ansichten nicht gleich aus, sondern unterscheiden sich um so mehr, je verschiedener die Standpunkte sind. Die allervollkommenste perspectivische Zeichnung desselben Gegenstandes wird aber ihr Ansehen nicht wesentlich

verändern, wenn wir sie nach einander von verschiedenen Standpunkten aus betrachten. Die Gegenstände des Vordergrundes der Zeichnung decken immer genau dieselben Stellen ihres Hintergrundes, die Flächen, welche einmal verkürzt erscheinen, bleiben verkürzt.

Nun hat der Mensch zwei Augen, welche fortdauernd die Welt von zwei verschiedenen Standpunkten aus betrachten, welche also auch fortdauernd zwei verschiedene perspectivische Ansichten dem Bewusstsein zur Begutachtung darbieten, so oft sie einen körperlich ausgedehnten Gegenstand wahrnehmen. Wenn dagegen beide Augen eine perspectivische Zeichnung des Gegenstandes betrachten, die auf einer ebenen Fläche ausgeführt ist, so erhalten beide dasselbe perspectivische Bild. Dadurch werden wir befähigt, den wirklichen Gegenstand von seiner Abbildung zu unterscheiden, möge letztere auch noch so getreu und vollkommen sein.

Wenn wir aber nun zwei perspectivische Zeichnungen desselben Gegenstandes anfertigen, welche den Ansichten des rechten und linken Auges entsprechen, und dann jedem Auge die betreffende Zeichnung in einer richtigen Lage zeigen, so hört der wesentliche Unterschied zwischen der Ansicht des Gegenstandes und seiner Abbildung auf, und wir glauben nun, statt der Zeichnungen in der That die Gegenstände zu sehen.

Dies leistet das Stereoskop. Zu stereoskopischen Darstellungen gehören also immer je zwei Zeichnungen desselben Gegenstandes, welche von zwei verschiedenen Standpunkten aus aufgenommen sind. Der optische Theil des Instruments, der äusserst verschieden eingerichtet sein kann, leistet weiter nichts, als dass er die beiden verschiedenen Zeichnungen scheinbar an denselben Ort verlegt. Ja, wer im Schielen geübt ist, braucht gar keine optischen Hülfsmittel. Wenn man einfach die beiden Zeichnungen neben einander legt und so lange schielt, bis von den dabei entstehenden doppelten Bildern die beiden mittleren sich decken, so tritt die stereoskopische Täuschung ein.

Am lehrreichsten sind stereoskopische Darstellungen von körperlichen Figuren, welche aus einfachen Linien und Punkten zusammengesetzt sind, weil hier alle anderen Hülfsmittel für die Beurtheilung der Tiefendimension fehlen, und daher die Täuschung selbst und ihr Grund am augenscheinlichsten hervortritt. Am

wunderbarsten aber, wegen der ausserordentlichen Lebhaftigkeit der Täuschung, sind die zuerst von Moser[1]) ersonnenen und ausgeführten stereoskopischen Darstellungen von Landschaften, Statuen und menschlichen Figuren, welche mittelst der Photographie gewonnen werden.

So construiren wir uns also die Raumverhältnisse der uns umgebenden Gegenstände fortdauernd aus zwei verschiedenen perspectivischen Ansichten, welche unsere beiden Augen uns von ihnen liefern. Der Einäugige entbehrt dieses Vortheils: so lange er sich nicht von der Stelle bewegt, erkennt er seine Umgebung nur in so weit richtig, als man dies aus einem vollkommen getreuen Gemälde erkennen könnte. Nur wenn er sich fortbewegt, lernt er die Ansichten verschiedener Standpunkte kennen und die Raumverhältnisse sicher beurtheilen. Man kann also sagen, so lange er stille sitzt, sieht er nicht die Welt, sondern nur ein perspectivisches Gemälde der Welt. Er kann deshalb auch vom Stereoskop keinen Vortheil ziehen, weil die Täuschung beim Gebrauche dieses Instruments auf dem gleichzeitigen Gebrauche beider Augen beruht.

So erklärt sich auch die Schwierigkeit eines von der Jugend zuweilen geübten Spieles. Man hängt einen Ring an einem Faden auf. Einer der Spielenden setzt sich so, dass er den Ring von der schmalen Seite sieht, und hat die Aufgabe, während er ein Auge schliesst, ein Stäbchen durch den Ring zu schieben. Gewöhnlich gelingt es ihm, zum Gelächter der Anderen, erst nach vielen vergeblichen Bemühungen, während die Aufgabe mit zwei offenen Augen ganz leicht zu lösen ist.

Von den Momenten, welche wir zur Beurtheilung der Raumverhältnisse gebrauchen, ist schliesslich noch eines zu erwähnen. Wir beurtheilen die Richtung, aus der das Licht herkommt, nach der Stelle der Netzhaut, welche davon getroffen wird. Aber die Stelle des Bildes auf der Netzhaut ändert sich, wenn man das Auge bewegt. Es muss also auch noch die Stellung des Auges im Kopfe bekannt sein, wenn wir richtig auf die Raumverhältnisse schliessen sollen. Jede Bewegung des Auges, die nicht in Folge unseres Willenseinflusses entsteht, oder nicht so ausgeführt wird, wie wir es durch unseren Willen beabsichtigt haben, stört daher unser Urtheil über die Lage der uns umgebenden Gegenstände. Schliesst man ein Auge, und drückt und zerrt man am anderen, so

[1]) S. Dove, Repertorium der Physik. Bd. V, S. 384, Jahrg. 1844.

treten sogleich scheinbare Bewegungen der gesehenen Gegenstände ein. Durch den äusseren mechanischen Einfluss wird hier das Auge verschoben, ohne dass wir genau beurtheilen können, in welcher Richtung und wie weit dies geschieht; die optischen Bilder verschieben sich dabei auf der Netzhaut, und wir schliessen daraus auf eine Bewegung der Gegenstände. Haben wir bei diesem Versuche beide Augen geöffnet, so erblickt das unbewegte Auge den Gegenstand fest und unverrückt, während das gedrückte oder gezerrte Auge ein zweites bewegliches Bild desselben daneben sieht. In dieses Gebiet gehören auch die Scheinbewegungen, welche beim Schwindel eintreten. Sie erklären sich grössten Theils daraus, dass die Wirkung der Muskeln, die das Auge bewegen, falsch beurtheilt wird. Ein Fieberkranker, dem die Gegenstände zu tanzen scheinen, wenn er die Augen bewegt, weil er die Wirkung seiner Augenmuskeln auf die Stellung des Auges falsch beurtheilt, findet daher Erleichterung, sobald er sie fest auf einen Punkt geheftet hält, weil dann der Grund dieser Scheinbewegungen fortfällt. Jemand, der sich schnell im Kreise gedreht hat, sieht, wenn er wieder still steht, die Gegenstände seiner Umgebung in entgegengesetzter Richtung eine Scheinbewegung ausführen. Jemand, der, in der Eisenbahn sitzend, längere Zeit die Gegenstände, an denen er vorüberfährt, betrachtet hat und nun in den Wagen hineinblickt, glaubt, die Gegenstände im Wagen in der entgegengesetzten Richtung bewegt zu sehen. Jemand, der einige Zeit auf der See gefahren ist, glaubt nachher am Lande ähnliche Bewegungen des Zimmers zu sehen, wie sie in der Cajüte des Schiffes stattfanden. In diesen Fällen hat sich eine falsche Gewöhnung des Urtheils ausgebildet. Während die wirkliche Bewegung stattfand, musste der Beobachter, wenn er einen Gegenstand fixiren wollte, seine Augen entsprechend mitbewegen. So entstand nun eine neue Art von Einübung bei ihm, die ihn lehrte, welchen Grad von Spannung er den Augenmuskeln geben musste, um einen Gegenstand zu fixiren. Hört nun die wirkliche Bewegung auf, so will er in derselben Weise fortfahren, die Gegenstände zu fixiren. Jetzt aber tritt bei derselben Spannung der Muskeln eine Verschiebung des Netzhautbildes ein, da die Gegenstände sich nicht mehr in entsprechender Weise mit den Augen bewegen, und der Beobachter urtheilt deshalb, dass die stillstehenden Gegenstände sich bewegen, bis er sich wieder auf die Fixation feststehender Gegenstände eingeübt hat. Es ist diese Art der Scheinbewegungen

namentlich deshalb interessant, weil sie lehrt, wie schnell eine veränderte Einübung in der Deutung der Sinneswahrnehmungen eintreten kann.

Wie wenig wir überhaupt bei dem täglichen praktischen Gebrauche unserer Sinnesorgane an die Rolle denken, welche diese dabei spielen, wie ausschliesslich uns nur das von ihren Wahrnehmungen interessirt, was uns über Verhältnisse der Aussenwelt Nachricht verschafft, und wie wenig wir solche Wahrnehmungen berücksichtigen, welche dazu nicht geeignet sind, dafür noch einige Beispiele. Wenn wir einen Gegenstand genau betrachten wollen, so richten wir die Augen so auf ihn, dass wir ihn deutlich und einfach sehen. Wenn wir dann ein Auge durch einen Druck mit dem Finger seitlich verschieben, entstehen, wie ich schon erwähnte, Doppelbilder des Gegenstandes, weil wir nun nicht mehr die Bilder beider Augen in dieselbe Stelle des Gesichtsfeldes verlegen. Aber während wir den einen Gegenstand fixiren, passt die Stellung unserer Augen nicht mehr für alle Gegenstände, welche näher oder ferner liegen, als der fixirte, und alle diese Gegenstände erscheinen uns doppelt. Man halte einen Finger nahe vor das Gesicht, und sehe nach dem Finger; achtet man nun gleichzeitig auf die Gegenstände des Hintergrundes, so erscheinen diese doppelt, und sieht man nach einem Punkte des Hintergrundes, so erscheint der Finger doppelt. Wir können also nicht zweifeln, dass wir fortdauernd den grösseren Theil der Gegenstände des Gesichtsfeldes doppelt sehen, und doch merken wir das gar nicht so leicht; vielleicht giebt es viele Personen, die es durch ihr ganzes Leben nicht gemerkt haben. Auch wenn wir es schon wissen, gehört immer noch ein besonderer Act der Aufmerksamkeit dazu, um die Doppelbilder wahrzunehmen, während wir bei dem gewöhnlichen praktischen Gebrauche der Augen mit der grössten Beharrlichkeit von ihnen abstrahiren.

Ferner, würden Sie wohl glauben, dass in jedem menschlichen Auge, ganz nahe der Mitte des Gesichtsfeldes, sich eine Stelle befindet, welche gar nichts sieht, sondern vollständig blind ist, nämlich die Eintrittsstelle des Sehnerven? Und das sollten wir unser ganzes Leben lang nicht bemerkt haben? Wie ist das möglich? Es ist ebenso gut möglich, als dass Jemand Monate, Jahre lang auf einem ganzen Auge blind sein kann und es erst bei einer zufälligen Erkrankung des anderen Auges bemerkt. So auch mit dem normalen blinden Flecke des Auges. Die blinden

Flecke beider Augen fallen nicht auf denselben Theil Gesichtsfeldes. Wo also das eine Auge nichts sehen sieht das andere, und auch wenn wir ein Auge schli bemerken wir nicht so leicht den blinden Fleck, weil wi wöhnlich, um etwas genau zu sehen, nur eine einzige, einen besonderen Bau ausgezeichnete Stelle der Netzhaut Stelle des directen Sehens, anwenden. Die Eindrücke, w von den übrigen Theilen des Gesichtsfeldes kommen, gleichsam nur eine flüchtige Skizze von der Umgebung de trachteten Gegenstandes. Und da wir meistens den Blic den verschiedenen Theilen des Gesichtsfeldes umhersch lassen und die Gegenstände, welche uns interessiren, dabei einander fixiren, so werden wir, trotz des blinden Fleck diesen Bewegungen mit allen Theilen des Gesichtsfeldes be und nicht gehindert sein, Alles wahrzunehmen, an dessen nehmung uns etwas liegt.

Um sich von dem Vorhandensein eines solchen Flecl überzeugen, muss man schon methodische Beobachtunge stellen. Wenn man das linke Auge schliesst, ein Papierbl der Entfernung von 7 Zoll vor das rechte Auge hält, und einen bezeichneten Punkt der Papierfläche fixirt, so ents der blinde Fleck der Stelle des Papiers, welche 2 Zoll rechts von dem Gesichtspunkte liegt. Befindet sich hi schwarzer Fleck, oder irgend ein kleiner Gegenstand, so man diesen nicht, sondern die weisse Fläche des Papie scheint ununterbrochen [1]).

Die Grösse des blinden Flecks ist hinreichend, um u Himmel eine Scheibe, welche einen zwölfmal grösseren messer hätte als der Mond, verdecken zu können. Ein m liches Gesicht kann er verdecken, wenn sich dieses in Entfernung befindet. Sie sehen, dass seine Grösse verhä mässig gar nicht unbedeutend ist.

---

[1]) Der Leser wird den Versuch an der beistehenden Figur lei führen können.

+ ●

Er schliesse das linke Auge, blicke mit dem rechten nach dem Kr und entferne das Papierblatt etwa 7 Zoll vom Auge, so wird i schwarze Kreisfläche verschwinden. Nähert er das Papier dem Au entfernt er es mehr, so kommt sie wieder zum Vorschein. Man ac ia darauf, stets das Kreuzchen zu fixiren.

Diese Thatsachen bestätigen, was ich vorher aussprach, dass wir von unseren Sinneswahrnehmungen beim unbefangenen Gebrauche der Sinne nur das berücksichtigen, was uns Aufschluss über die Aussenwelt giebt. Aber neuere Untersuchungen über den blinden Fleck geben uns ausserdem noch interessante Aufschlüsse über die Rolle, welche psychische Prozesse schon bei den einfachsten Sinneswahrnehmungen spielen. Bringen wir in die dem blinden Fleck entsprechende Stelle des Gesichtsfeldes irgend ein Object, welches kleiner ist als der blinde Fleck, so sehen wir es überhaupt nicht, sondern füllen die Lücke mit der Farbe des Grundes aus, wie das namentlich in dem beschriebenen Versuche mit dem schwarzen Fleck auf weissem Papiere geschieht. Fällt der blinde Fleck auf einen Theil irgend einer Figur, so ergänzen wir die Figur, und zwar so, wie es den am häufigsten uns vorkommenden Figuren ähnlicher Art entspricht. Fällt der blinde Fleck z. B. auf einen Theil einer schwarzen Linie auf weissem Grunde, so setzt die Einbildungskraft die Linie auf dem kürzesten Wege durch den blinden Fleck hin fort, auch dann, wenn in Wahrheit an der Stelle die wirkliche Linie eine Lücke oder Ausbiegung haben sollte. .

Fällt der blinde Fleck auf die Mitte eines Kreuzes, so ergänzt die Einbildungskraft den mittleren Theil, und wir glauben ein Kreuz zu sehen, selbst in dem Falle, wo in Wahrheit die vier Schenkel in der Mitte gar keine Verbindung haben sollten, u. s. w.

Sind verschiedene Auslegungen gleich geläufig, so schwankt die Vorstellung oft zwischen der einen und anderen, sie kann aber nicht durch den Willen gezwungen werden, die eine oder die andere zu wählen.

Wenn beide Augen geöffnet sind, so entscheiden wir im Allgemeinen nach den Wahrnehmungen des sehenden Auges. Halte ich ein Papier mit einem rothen Flecke so vor mich hin, dass der rothe Fleck vom rechten Auge nicht gesehen wird, so wird er doch vom linken gesehen, und ich glaube deshalb, ein Papier mit einem rothen Flecke wahrzunehmen, was auch der Wirklichkeit entspricht. In anderen Fällen entscheiden wir aber nicht unbedingt nach den Wahrnehmungen des sehenden Auges. Wenn ich nun ein ganz weisses Papier nehme und vor das linke Auge ein rothes Glas halte, so erscheint das ganze Papier gleichmässig röthlich-weiss, ohne dass die dem blinden Flecke des rechten

Auges entsprechende Stelle sich durch ein besonderes A
auszeichnete. Und doch sind die unmittelbaren Empfind
welche sich auf diese Stelle beziehen, jetzt in beiden Augen
dieselben wie vorher, als das Papier mit dem rothen Flecl
trachtet wurde; nämlich das rechte Auge sieht hier gar
das linke reines Roth. Trotzdem erscheint diese Stelle
rein roth, sondern, wie das ganze übrige Papier, weiss mit
schwachen röthlichen Scheine. Der Unterschied liegt nur
dass jetzt dem linken Auge nicht bloss die eine Stelle, sc
die ganze Papierfläche rein roth erscheint. Die dem b
Flecke des rechten Auges entsprechende Stelle zeichnet si
linken nicht durch ihre Farbe vor dem anderen Papiere au
das Urtheil findet deshalb keinen Grund, jener Stelle eir
sondere Beschaffenheit beizulegen. Hier finden wir also e
einen Fall, wo die Einbildungskraft, trotz der gleichen S
eindrücke, sich durch das Urtheil bestimmen lässt, dieselbe
schieden und richtig zu deuten.

Das Feld der sogenannten Gesichtstäuschungen ist no
gemein reich. Die angeführten Beispiele werden aber ge
Ihnen die Eigenthümlichkeiten der Wahrnehmungen unseres
und unserer Sinne überhaupt anschaulich zu machen.

Ich habe bisher immer gesagt, die Vorstellung i
urtheile, schliesse, überlege u. s. w., habe mich aber
gehütet zu sagen, wir urtheilen, schliessen, überlegen;
ich habe schon anerkannt, dass diese Acte ohne unser
vor sich gehen und auch nicht durch unseren Willer
unsere bessere Ueberzeugung abgeändert werden können. I
wir denn nun, was hier geschieht, dieses Denken ohne S
bewusstsein und nicht unterworfen der Controlle der
bewussten Intelligenz, wirklich als Prozesse des Denken
zeichnen? Dazu kommt, dass die Genauigkeit und Sich
in der Construction unserer Gesichtsbilder so gross, so a
blicklich und unzweifelhaft ist, wie wir sie unseren Sc
folgerungen zuzutrauen eigentlich nicht geneigt sind.
so sehr wir uns auch mit der Macht unseres Verst
brüsten, so belegen wir doch im gemeinen Leben und i
nicht mathematischen Wissenschaften zu oft dasjenige mi
Namen eines Schlusses, was eigentlich nur ein Errathen
eine wahrscheinliche Annahme ist, als dass wir nicht ge
Zweifel hegen müssten gegen die Zuverlässigkeit solcher Sc
folgerungen, die nicht auf Erfahrung gestützt sind. Und w

Schnelligkeit der Schlussfolgerungen betrifft, so sind diese auch da, wo wir absolute Zuverlässigkeit erreichen können, wie in mathematischen Folgerungen und Rechnungen, so schwerfällig, umständlich und langsam, dass sie mit den blitzschnellen Auffassungen unseres Auges nicht im Entferntesten verglichen werden können.

Die Natur der psychischen Prozesse zu bestimmen, welche die Lichtempfindung in eine Wahrnehmung der Aussenwelt verwandeln, ist eine schwere Aufgabe. Leider finden wir bei den Psychologen keine Hülfe, weil für die Psychologie die Selbstbeobachtung bisher der einzige Weg des Erkennens gewesen ist, wir es aber hier mit geistigen Thätigkeiten zu thun haben, von denen uns die Selbstbeobachtung gar keine Kunde giebt, deren Dasein wir vielmehr erst aus der physiologischen Untersuchung der Sinneswerkzeuge schliessen können. Die Psychologen haben daher die geistigen Acte, von denen hier die Rede ist, auch meist unmittelbar zur sinnlichen Wahrnehmung gerechnet, und keinen näheren Aufschluss über sie zu erhalten gesucht.

Diejenigen, welche sich nicht entschliessen mochten, dem Denken und Schliessen eine Rolle bei den sinnlichen Wahrnehmungen einzuräumen, kamen zunächst zu der Annahme, dass das Bewusstsein aus dem Auge hinaustrete, längs des Lichtstrahls bis zu dem gesehenen Objecte sich hinbreite und dieses an Ort und Stelle wahrnehme, etwa so, wie Platon es ausspricht: „Unter allen Organen bildeten die Götter die strahlenden Augen zuerst. Ein Organ des Feuers, das nicht brennt, sondern ein mildes Licht giebt, jedem Tage angemessen, hatten sie bei dieser Bildung zur Absicht. Wenn des Auges Licht um den Ausfluss des Gesichtes ist, und Gleiches zu Gleichem ausströmend sich vereint, so entwirft sich in der Richtung der Augen ein Körper, wo immer das aus dem Innern ausströmende Licht mit dem äusseren zusammentrifft. Wenn aber das verwandte Feuer des Tages in die Nacht vergeht, so ist auch das innere Licht verhalten; denn in das Ungleichartige ausströmend verändert es sich und erlischt, indem es durch keine Verwandtschaft der Luft sich anfügen und mit ihr Eins werden kann, da sie selbst kein Feuer hat.“ Diese Stelle ist merkwürdig, weil darin ein Anerkenntniss der wichtigen Rolle liegt, welche das Auge bei der Lichtempfindung spielt. Man würde das innere Licht in dieser Beziehung der Nerventhätigkeit vergleichen können. Ebenso wie Platon das innere Licht ausströmen, an den erleuchteten Körpern

mit dem äusseren Lichte zusammenkommen, und hier das Bewusstsein von der Anwesenheit des Körpers entstehen lässt, so liessen Neuere das geheimnissvolle Nervenagens aus dem Auge ausströmen und an den Körpern selbst diese erkennen. Namentlich huldigten dieser Lehre die Anhänger des thierischen Magnetismus, welche überhaupt ihre ganze Theorie auf die Annahme einer den menschlichen Körper umgebenden Nervenatmosphäre gebaut hatten. Sie liessen das Nervenfluidum bekanntlich Reisen zu den entferntesten Theilen der Erde und selbst des Weltalls antreten, um dort auszukundschaften, was der neugierige Magnetiseur zu wissen wünschte. Obgleich aber die beschriebene Vorstellung vom Sehen der sinnlichen Anschauung des gemeinen Lebens mehr entsprechen möchte, lässt sie sich nicht halten. Denn warum merkt es das ausströmende Nervenprincip oder Bewusstsein nicht, dass nur der Finger die Netzhaut gedrückt hat, und draussen gar kein Licht sei? und was geschieht ihm, wenn es draussen auf einen Spiegel stösst? wird das Bewusstsein von ihm nach denselben Gesetzen, wie das Licht, zurückgeworfen? und warum täuscht es sich nachher über den Ort des durch den Spiegel gesehenen Körpers? Wir verwickeln uns in die grössten Absurditäten, wenn wir dieser Hypothese nachgehen; eben deshalb hat dieselbe niemals Eingang in die ernstere Wissenschaft erlangen können.

Wenn aber das Bewusstsein nicht unmittelbar am Orte der Körper selbst diese wahrnimmt, so kann es nur durch einen Schluss zu ihrer Kenntniss kommen. Denn nur durch Schlüsse können wir überhaupt das erkennen, was wir nicht unmittelbar wahrnehmen. Dass es nicht ein mit Selbstbewusstsein vollzogener Schluss sei, darüber sind wir einig. Vielmehr hat er mehr den Charakter eines mechanisch eingeübten, der in die Reihe der unwillkührlichen Ideenverbindungen eingetreten ist, wie solche zu entstehen pflegen, wenn zwei Vorstellungen sehr häufig mit einander verbunden vorgekommen sind. Dann ruft jedesmal die eine mit einer gewissen Naturnothwendigkeit die andere hervor. Denken Sie an einen gewandten Schauspieler, der uns die Kleidung, die Bewegungen und Sitten der Person, welche er darstellt, getreu vorführt. Wir werden uns allerdings jeden Augenblick darauf besinnen können, dass das, was wir auf der Bühne sehen, nicht die Person der Rolle, sondern der Schauspieler N. sei, den wir auch schon in anderen Rollen gesehen haben, aber diese Vorstellung, als ein Act des freien und selbstbewussten

nkens, wird doch die Täuschung nicht beseitigen, welche uns tdauernd die Vorstellung von der Person der Rolle lebendig ält. Wir werden der Person auf der Bühne unwillkürlich tdauernd die Gefühle zumuthen, welche der Rolle entsprechen, l eine danach eingerichtete Handlungsweise erwarten. Ja, bei · höchsten Vollendung dramatischer Darstellung kommt uns ht einmal die Kunst des Schauspielers zum Bewusstsein, weil · das, was er thut, ganz natürlich finden, und nur durch den rgleich mit ungeschickteren Mitschauspielern, bei denen wir die stattfindende Täuschung fortdauernd durch Züge erinnert rden, welche der Person des Schauspielers und nicht der der lle angehören, lernen wir einen Schauspieler ersten Ranges ıätzen.

Gerade so ist es bei den optischen Täuschungen, wenn wir ·en Mechanismus einsehen. Wir wissen in solchen Fällen, dass › Vorstellung, welche der sinnliche Eindruck in uns hervorruft, richtig ist; das hindert aber nicht, dass diese Vorstellung in . ihrer Lebhaftigkeit bestehen bleibt. Und während es beim hauspieler vielleicht nur conventionelle Formen der Kleidung, ›wegung, Sprechweise sind, die die Täuschung erhalten, und r höchstens bei leidenschaftlichen Aufregungen an eine natür-›he Verbindung des Gefühls und seiner Zeichen, welche der ›hauspieler vorführt, denken können, so haben wir es bei den nneswahrnehmungen mit einer Verbindung von Vorstellungen ı thun, welche durch die Natur unserer Sinne selbst bedingt t, also auch viel seltenere Ausnahmen zulässt, als die Formen ·r menschlichen Sitte. Unser ganzes Leben hindurch haben r in millionenfacher Wiederholung erfahren, dass, wenn in wissen Nervenfasern unserer beiden Augen, bei einer gewissen ellung derselben, ein Gegenstand Lichtempfindung erregte, wir n Arm so weit ausstrecken mussten, oder eine bestimmte Zahl n Schritten gehen mussten, um ihn zu erreichen. Dadurch ist nn die unwillkürliche Verbindung zwischen dem bestimmten sichtseindruck und der Entfernung und Richtung, in welcher r Gegenstand zu suchen ist, hergestellt. Deshalb entsteht und ıält sich die Vorstellung eines solchen Gegenstandes, wenn uns B. das Stereoskop die entsprechenden Gesichtseindrücke her-·uft, auch gegen unsere besser begründete Ueberzeugung, ·ade wie uns die Kleider und Bewegungen des Schauspielers lebendige Anschauung der Person der Rolle aufrecht erhalten. letzteren Falle ist die Verbindung zwischen dem Aeusseren

und dem Wesen der Person, z. B. zwischen männlichen Kleidern und einem Manne, doch rein conventionell, nicht einmal durch Naturnothwendigkeit gegeben, also jedenfalls nur angelernt, nicht angeboren. Was die Beurtheilung der Entfernung durch die Augen betrifft, so können wir wohl ebenfalls nicht zweifeln, dass diese durch Einübung angelernt sei. Wir sehen deutlich bei jungen Kindern, dass sie ganz falsche Vorstellungen von den Entfernungen der Gegenstände haben, die sie erblicken, und mancher von Ihnen wird sich vielleicht aus seiner Jugend noch Begebnisse zurückrufen können, bei denen er in grober Täuschung über die Entfernungen war. Ich entsinne mich selbst noch deutlich des Augenblickes, wo mir das Gesetz der Perspective aufging, dass entfernte Dinge klein aussehen. Ich ging an einem hohen Thurme vorbei, auf dessen oberster Gallerie sich Menschen befanden, und muthete meiner Mutter zu, mir die niedlichen Püppchen herunter zu langen, da ich durchaus der Meinung war, wenn sie den Arm ausrecke, werde sie nach der Gallerie des Thurmes hingreifen können. Später habe ich noch oft nach der Gallerie jenes Thurmes emporgesehen, wenn sich Menschen darauf befanden, aber sie wollten dem geübteren Auge nicht mehr zu niedlichen Püppchen werden.

Durch das Princip der Einübung, der Erziehung unserer Sinnesorgane erklärt sich auch die Sicherheit und Genauigkeit in der Raumconstruction unserer Augen. Mit welcher die künstlichsten Maschinen übertreffenden Genauigkeit wir lernen können die Organe unseres Körpers zu gebrauchen, das zeigen die Uebungen des Jongleurs, die Stösse gewandter Billardspieler. Wir alle sind, so zu sagen, Jongleurs mit den Augen; denn wir haben uns jedenfalls viel anhaltender und länger in der Beurtheilung unserer Gesichtsobjecte geübt, als unsere gymnastischen Künstler in ihren Kugelspielen und Balancirübungen; wir erregen mit unserer Kunstfertigkeit nur deshalb kein Aufsehen, weil jeder Andere dieselbe Reihe von Kunststücken ausführen kann.

Indem wir sehen gelernt haben, haben wir eben nur gelernt, die Vorstellung eines gewissen Gegenstandes mit gewissen Empfindungen zu verknüpfen, welche wir wahrnehmen. Die Mittelglieder, durch welche die Empfindungen zu Stande kommen, interessiren uns dabei gar nicht; ohne wissenschaftliche Untersuchung lernen wir sie auch gar nicht kennen. Zu diesen Mittelgliedern gehört auch das optische Bild auf der Netzhaut. Der

Umstand, dass es auf dem Kopfe steht, und wir die Gegenstände doch aufrecht sehen, hat viele Verwunderung und eine unendliche Menge unnützer Erklärungsversuche hervorgerufen. Wir haben durch Erfahrung gelernt: Lichtempfindung in gewissen Fasern des Sehnerven bezeichnet helle Gegenstände oben im Gesichtsfelde, Lichtempfindung in gewissen anderen Fasern bezeichnet sie unten. Wo diese Fasern in der Netzhaut, im Sehnerven liegen, ist dabei ganz einerlei, wenn wir nur im Stande sind, den Eindruck der einen Faser von dem der anderen zu unterscheiden. Dass es eine Netzhaut und optische Bilder darauf gebe, weiss ja der natürliche Mensch gar nicht. Wie soll ihn da die Lage des optischen Bildes auf der Netzhaut irre machen können?

In wie weit übrigens die bloss erlernten oder die angeborenen, und durch die Organisation des Menschen selbst wesentlich bedingten Verknüpfungen von Vorstellungen bei dem Verständniss unserer Sinneswahrnehmungen in Betracht kommen, lässt sich bis jetzt wohl kaum entscheiden. Bei Thieren beobachten wir instinctive Handlungen, die darauf hindeuten. Das neugeborene Kalb geht auf das Euter der Kuh zu, um zu saugen; das würde, wenn es mit Bewusstsein geschähe, ein Verständniss der Gesichtserscheinungen und eine Kenntniss des Gebrauches seiner Füsse voraussetzen, die nicht erlernt sein könnten. Aber wer von uns kann sich in die Seele eines neugeborenen Kalbes versetzen, um den Mechanismus dieser instinctiven Handlungen zu verstehen?

Somit wäre das, was ich früher das Denken und Schliessen der Vorstellungen genannt habe, nun doch wohl kein Denken und Schliessen, sondern nichts als eine mechanisch eingeübte Ideenverbindung? Ich bitte Sie, noch einen letzten Schritt weiter mit mir zu machen, einen Schritt, der uns wieder auf unseren Anfang, auf Kant, zurückführen wird. Wenn eine Verbindung zwischen der Vorstellung eines Körpers von gewissem Aussehen und gewisser Lage und unseren Sinnesempfindungen entstehen soll, so müssen wir doch erst die Vorstellung von solchen Körpern haben. Wie es aber mit dem Auge ist, so ist es auch mit den anderen Sinnen; wir nehmen nie die Gegenstände der Aussenwelt unmittelbar wahr, sondern wir nehmen nur Wirkungen dieser Gegenstände auf unsere Nervenapparate wahr, und das ist vom ersten Augenblicke unseres Lebens an so gewesen. Auf welche Weise sind wir denn nun zuerst aus der Welt der Empfindungen unserer Nerven hinübergelangt in die Welt der

Wirklichkeit? Offenbar nur durch einen Schluss; wir
die Gegenwart äusserer Objecte als Ursache unserer
erregung voraussetzen; denn es kann keine Wirkung oh
sache sein. Woher wissen wir, dass keine Wirkung ohne U
sein könne? Ist das ein Erfahrungssatz? Man hat ihn
ausgeben wollen; aber wie man sieht, brauchen wir diese
ehe wir noch irgend eine Kenntniss von den Dingen der A
welt haben; wir brauchen ihn, um nur überhaupt zu der Ei
niss zu kommen, dass es Objecte im Raume um uns
zwischen denen ein Verhältniss von Ursache und Wirku
stehen kann. Können wir ihn aus der inneren Erf
unseres Selbstbewusstseins hernehmen? Nein; denn die
bewussten Akte unseres Willens und Denkens betracht
gerade als frei; d. h. wir leugnen, dass sie nothwendig
kungen ausreichender Ursachen seien. Also führt uns die
suchung der Sinneswahrnehmungen auch noch zu der sch
Kant gefundenen Erkenntniss: dass der Satz: „Keine W
ohne Ursache", ein vor aller Erfahrung gegebenes Gesetz
Denkens sei [1]).

Es war der ausserordentlichste Fortschritt, den die Phil
durch Kant gemacht hat, dass er das angeführte Gesetz
übrigen eingeborenen Formen der Anschauung und Gese
Denkens aufsuchte und als solche nachwies. Damit leist
wie ich schon vorher erwähnte, dasselbe für die Lehre v
Vorstellungen überhaupt, was in einem engeren Kreise
unmittelbaren sinnlichen Wahrnehmungen auf empirischen
die Physiologie durch Johannes Müller geleistet hat
letzterer in den Sinneswahrnehmungen den Einfluss d
sonderen Thätigkeit der Organe nachwies, so wies Kant na
in unseren Vorstellungen von den besonderen und eige
lichen Gesetzen des denkenden Geistes herrühre. Sie
also, dass Kant's Ideen noch leben, und noch imm
reicher entfalten, selbst in Gebieten, wo man ihre Früch
leicht nicht gesucht haben würde. Auch hoffe ich Ihn
gemacht zu haben, dass der Gegensatz zwischen Philosop
Naturwissenschaften sich nicht auf alle Philosophie übe
sondern nur auf gewisse neuere Systeme der Philosophie

[1]) Spätere genauere Erörterungen des Sinnes dieses Satzes fin
in meiner Rede über „Die Thatsachen in der Wahrnehmung",
dieser Sammlung.

und dass das gemeinsame Band, welches alle Wissenschaften verbinden soll, keineswegs durch die neuere Naturwissenschaft zerrissen ist. Ja ich fürchte sogar, dass Sie auf meinen heutigen naturwissenschaftlichen Vortrag das Sprüchlein anwenden könnten, welches Mephistopheles eigentlich auf die Philosophen gemünzt hat:

Dann lehret man euch manchen Tag,
Dass, was ihr sonst auf einen Schlag
Getrieben, wie Essen und Trinken frei,
Eins! Zwei! Drei! dazu nöthig sei.

Ueber die physiologischen Ursachen der musikalischen Harmonie

Vorlesung gehalten in Bonn
1857

Hochgeehrte Versammlung!

In der Vaterstadt Beethovens, des gewaltigsten unter den Heroen der Tonkunst, schien mir zur Besprechung in einem grösseren Kreise kein Gegenstand geeigneter, als die Musik. Ich will daher, der Richtung folgend, die meine Arbeiten in der letzten Zeit genommen haben, versuchen Ihnen auseinander zu setzen, was Physik und Physiologie über die geliebteste Kunst des Rheinlandes, über Musik und musikalische Verhältnisse zu sagen wissen. Die Musik hat sich bisher mehr als jede andere Kunst der wissenschaftlichen Behandlung entzogen. Dichtkunst, Malerei und Bildhauerei entnehmen wenigstens das Material für ihre Schilderungen aus der Welt der Erfahrung; sie stellen Natur und Menschen dar. Nicht blos kann dieses ihr Material auf seine Richtigkeit und Naturwahrheit kritisch untersucht werden, sondern auch in der Erforschung der Gründe für das ästhetische Wohlgefallen, welches die Werke dieser Künste erregen, hat die wissenschaftliche Kunstkritik, wenn auch enthusiastische Seelen ihr dazu oft die Berechtigung bestreiten, unverkennbare Fortschritte gemacht. In der Musik dagegen behalten, wie es scheint, vorläufig noch diejenigen recht, welche die kritische „Zergliederung ihrer Freuden“ von sich weisen. Diese Kunst, die ihr Material nicht aus der sinnlichen Erfahrung nimmt, die nicht die Aussenwelt zu beschreiben, nur ausnahmsweise sie nachzuahmen sucht, entzieht dadurch der wissenschaftlichen Betrachtung die meisten Angriffspunkte, welche die anderen Künste darbieten, und erscheint daher in ihren Wirkungen ebenso unbegreiflich und wunderbar, wie sie mächtig ist. Wir müsssen und wollen uns deshalb vorläufig auf die Betrachtung ihres künstlerischen Materials, der Töne oder Tonempfindungen, beschränken. Es hat mich immer als ein wunderbares und be-

sonders interessantes Geheimniss angezogen, dass gerade in der Lehre von den Tönen, in den physikalischen und technischen Fundamenten der Musik, die unter allen Künsten in ihrer Wirkung auf das Gemüth als die stoffloseste, flüchtigste und zarteste Urheberin unberechenbarer und unbeschreiblicher Stimmungen erscheint, die Wissenschaft des reinsten und consequentesten Denkens, die Mathematik, sich so fruchtbar erwies. Der Generalbass ist ja eine Art angewandter Mathematik; in der Abtheilung der Tonintervalle, der Tacttheile u. s. w. spielen die Verhältnisse ganzer Zahlen, — zuweilen sogar Logarithmen — eine hervorragende Rolle. Mathematik und Musik, der schärfste Gegensatz geistiger Thätigkeit, den man auffinden kann, und doch verbunden, sich unterstützend, als wollten sie die geheime Consequenz nachweisen, die sich durch alle Thätigkeiten unseres Geistes hinzieht, und die auch in den Offenbarungen des künstlerischen Genius uns unbewusste Aeusserungen geheimnissvoll wirkender Vernunftmässigkeit ahnen lässt.

Indem ich die physikalische Akustik vom physiologischen Standpunkte aus betrachtete, d. h. näher der Rolle nachging, welche dem Ohr in der Wahrnehmung der Töne zuertheilt ist, schien sich manches in seinem Zusammenhange klarer darzustellen; und so will ich denn versuchen, ob ich Ihnen einiges von dem Interesse mittheilen kann, welches diese Fragen in mir erregt haben, indem ich Ihnen etliche Ergebnisse der physikalischen und physiologischen Akustik anschaulich zu machen suche.

Die Kürze der zugemessenen Zeit fordert, dass ich mich auf einen Hauptpunkt beschränke; ich will aber den wichtigsten herausgreifen, an welchem Sie zugleich am besten erkennen werden, welche Bedeutung und Ergebnisse wissenschaftliche Untersuchungen in diesem Gebiete haben können, nämlich die Frage nach dem Grunde der Consonanz. Thatsächlich steht fest, dass die Schwingungszahlen consonanter Töne immer im Verhältnisse kleiner ganzer Zahlen zu einander stehen. Aber warum? Was haben die Verhältnisse der kleinen ganzen Zahlen mit der Consonanz zu thun? Es ist dies eine alte Räthselfrage, die schon Pythagoras der Menschheit aufgegeben hat, und die bisher ungelöst geblieben ist. Sehen wir zu, ob wir sie mit den Hülfsmitteln der modernen Wissenschaft beantworten können.

Zuerst, was ist ein Ton? Schon die gemeine Erfahrung lehrt uns, dass alle tönenden Körper in Zitterungen begriffen sind. Wir sehen und fühlen dieses Zittern, und bei starken Tönen fühlen wir,

selbst ohne den tönenden Körper zu berühren, das Schwirren der uns umgebenden Luft. Specieller zeigt die Physik, dass jede Reihe von hinreichend schnell sich wiederholenden Stössen, welche die Luft in Schwingung versetzt, in dieser einen Ton erzeugt.

Musikalisch wird der Ton, wenn die schnellen Stösse in ganz regelmässiger Weise und in genau gleichen Zeiten sich wiederholen, während unregelmässige Erschütterungen der Luft nur Geräusche geben. Die Höhe eines musikalischen Tones hängt von der Zahl solcher Stösse ab, die in gleicher Zeit erfolgen; je mehr Stösse in derselben Zeit, desto höher der Ton. Dabei stellt sich, wie bemerkt, ein enger Zusammenhang zwischen den bekannten, harmonischen, musikalischen Intervallen und der Zahl der Luftschwingungen heraus. Wenn bei einem Tone zweimal so viel Schwingungen in derselben Zeit geschehen, wie bei einem anderen, so ist er die höhere Octave dieses anderen. Ist das Verhältniss der Schwingungen in gleicher Zeit 2 : 3, so bilden beide Töne eine Quinte, ist es 4 : 5, so bilden sie eine grosse Terz.

Wenn Sie sich merken, dass die Anzahl der Schwingungen bei den Tönen des Duraccords *CEGC* im Verhältniss der Zahlen 4 : 5 : 6 : 8 steht, so können Sie daraus alle anderen Tonverhältnisse herleiten, indem Sie über jeden der genannten Töne sich einen neuen Duraccord gebaut denken, der dieselben Schwingungsverhältnisse zeigt. Die Zahl der Schwingungen ist, wie sich bei einer nach dieser Regel angestellten Berechnung ergiebt, innerhalb des Gebietes der hörbaren Töne ausserordentlich verschieden. Da die höhere Octave eines Tones zweimal so viele Schwingungen macht als ihr Grundton, so macht die zweit höhere viermal, die dritte achtmal so viele. Unsere neueren Pianofortes umfassen sieben Octaven; ihr höchster Ton macht deshalb 128 Schwingungen in derselben Zeit, in welcher ihr tiefster eine Schwingung vollführt.

Das tiefste *C*, das unsere Claviere zu haben pflegen, und das die sechszehnfüssigen offenen Pfeifen der Orgel geben, — die Musiker nennen es das Contra-*C* — macht 33 Schwingungen in der Secunde. Wir nähern uns bei ihm schon den Grenzen des Hörens. Sie werden bemerkt haben, dass diese Töne auf dem Pianoforte einen dumpfen, schlechten Klang haben; es ist schwer, ihre musikalische Höhe, die Reinheit ihrer Stimmung ganz scharf zu beurtheilen. Auf der Orgel ist das Contra-*C* etwas kräftiger als das der Saiten, aber auch hier fühlt sich das Ohr unsicher über die musikalische Höhe des Tones. Auf den grösseren Orgeln findet sich noch eine ganze Octave unter diesem

Contra-*C*, bis zu einer 32füssigen Pfeife, die das nächst tiefere *C* von $16^1/_2$ Schwingungen in der Secunde giebt; aber das Ohr empfindet diese Töne kaum noch als etwas anderes, denn als ein dumpfes Dröhnen, und je tiefer sie sind, desto deutlicher unterscheidet es in ihnen die einzelnen Luftstösse. Sie werden deshalb musikalisch auch nur zur Verstärkung des Tones der nächst höheren Octave gebraucht, dem sie den Eindruck grösserer Tiefe geben.

Mit Ausnahme der Orgel finden die übrigen musikalischen Instrumente, so verschiedene Mittel zur Tonerzeugung sie auch anwenden, die Grenze ihrer Tiefe sämmtlich ungefähr in derselben Gegend der Tonleiter wie das Clavier; nicht, weil es unmöglich wäre, langsamere Luftstösse von ausreichender Kraft hervorzubringen, sondern weil das Ohr seinen Dienst versagt, weil es langsamere Stösse eben nur als einzelne Stösse empfindet, sie aber nicht zu einem Tone zusammenfasst.

Die oft wiederholte Angabe des französischen Physikers Savart, dass er an einem besonders construirten Instrumente Töne von acht Schwingungen in der Secunde gehört habe, scheint auf einem Irrthum zu beruhen.

Nach der Höhe hin giebt man dem Pianoforte wohl einen Umfang bis zur siebenten Octave des Contra-*C*, dem sogenannten fünfgestrichenen *c* von 4224 Schwingungen in der Secunde. Von den Orchesterinstrumenten könnte nur die Piccoloflöte ebenso hoch, oder noch einen Ton höher gehen. Die Violine pflegt nur bis zu dem zunächst darunter liegenden *E* von 2640 Schwingungen in der Secunde gebraucht zu werden; abgesehen von den Kraftleistungen himmelstürmerischer Virtuosen, welche hier gern Motive suchen, um ihren Hörern neues und unerhörtes Herzweh zu bereiten. Solchen winken übrigens über dem fünfgestrichenen *C* noch drei ganze Octaven hörbarer und den Ohren höchst schmerzhafter Töne entgegen, wie Despretz nachgewiesen hat, der mittelst kleiner, mit dem Violinbogen gestrichener Stimmgabeln das achtgestrichene *C* von 32770 Schwingungen in der Secunde erreicht zu haben angiebt. Dort erst schien die Tonempfindung ihre Grenze zu erreichen, und auch hier waren in den letzten Octaven die Intervalle nicht mehr zu unterscheiden.

Die musikalische Höhe des Tones hängt nur von der Zahl der Luftschwingungen in der Secunde ab, nicht von der Art, wie sie hervorgebracht werden. Es ist gleichgültig, ob der Ton gebildet wird durch die schwingenden Saiten des Clavieres und der Violine,

durch die Stimmbänder des menschlichen Kehlkopfs, durch die Metallzungen des Harmonium, die Rohrzungen der Clarinette, Oboe und des Fagotts, durch die Schwingung der Lippen des Blasenden im Mundstück der Blechinstrumente, oder durch die Brechung der Luft an den scharfen Lippen der Orgelpfeifen und Flöten.

Zwei Töne von gleicher Schwingungszahl sind immer gleich hoch, von welchem dieser Instrumente sie auch hervorgebracht werden mögen. Was die Note *A* des Claviers von der gleichen Note *A* der Violine, Flöte, Clarinette, Trompete unterscheidet, nennt man die Klangfarbe, auf die wir später noch zurückkommen.

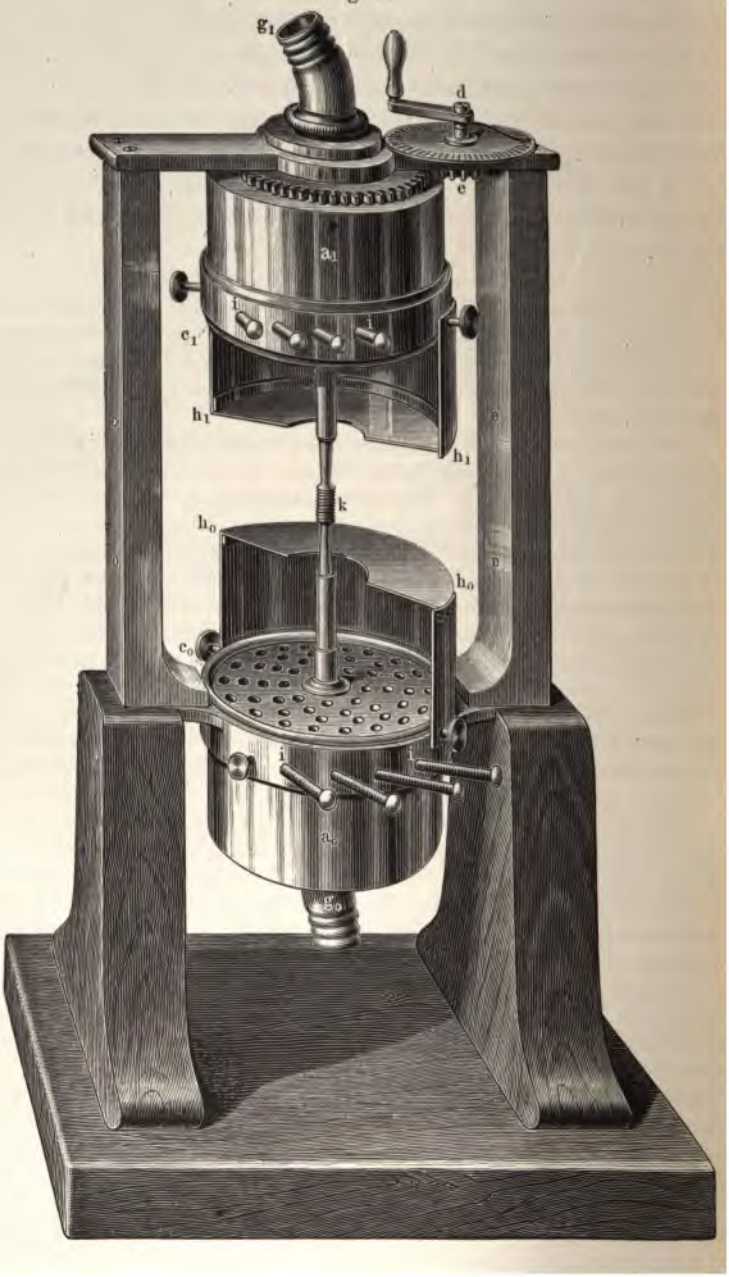
Als ein interessantes Beispiel zur Erläuterung der hier vorgetragenen Sätze erlaube ich mir, Ihnen ein eigenthümliches physikalisches Tonwerkzeug vorzuführen, die sogenannte Sirene, Fig. 1 (a. f. S.), welches besonders geeignet ist, alles, was von den Verhältnissen der Schwingungszahlen abhängt, festzustellen.

Um Töne durch dieses Instrument hervorzubringen, werden die Zuleitungsröhren g_0 und g_1 durch Schläuche mit einem Blasebalg verbunden; die Luft tritt dann in die runden Messingkästen a_0 und a_1 und durch die durchlöcherten Deckel dieser Kästen bei c_0 und c_1 wieder heraus. Die Löcher für die austretende Luft sind aber nicht ganz frei durchgängig, sondern unmittelbar vor den Deckeln der beiden Kästen befinden sich noch zwei ebenso durchlöcherte Scheiben, die an einer sehr leicht laufenden senkrechten Axe *k* befestigt sind. In der Figur sieht man bei c_0 nur die durchlöcherte Scheibe; unmittelbar unter ihr liegt die ebenso durchlöcherte Deckelplatte des Kastens. Am oberen Kasten bei c_1 sieht man nur den Rand der Scheibe. Wenn nun die Löcher der Scheibe gerade vor den Löchern des Deckels stehen, dann kann die Luft frei austreten. Wenn aber die Scheibe gedreht wird, so dass undurchbrochene Stellen der Scheibe vor den Löchern des Kastens stehen, so ist ihr Austritt verhindert. Lassen wir nun die Scheiben schnell umlaufen, so wechselt fortdauernd Oeffnung und Schliessung der Ausflusslöcher des Kastens; sind die Löcher offen, tritt Luft aus, sind sie geschlossen, wird die Luft zurückgehalten, und so zerfällt der continuirliche Luftstrom des Blasebalgs mittelst dieser Vorrichtung in eine Reihe von abgebrochenen Luftstössen, welche, wenn sie schnell genug auf einander folgen, sich zu einem Tone an einander reihen.

Jede von den drehbaren Scheiben dieses Instrumentes, welches complicirter gebaut ist als die bisherigen Instrumente ähnlicher Art und deshalb eine viel grössere Zahl von Toncombinationen erlaubt, hat vier Reihen Löcher, die untere mit 8, 10, 12, 18, die obere mit 9, 12, 15 und 16 Löchern. Die Löcherreihen in den Deckelplatten der Windkästen sind denen in den Scheiben ganz gleich; unter jeder von ihnen befindet sich aber noch ein ebenfalls durchlöcherter Ring, den man mittelst der Stifte *iiii* entweder so stellen kann, dass die betreffende Löcherreihe der Deckelplatte frei mit dem Innern des Kastens communicirt, oder dass sie abgeschlossen wird. Man kann also jede beliebige von den acht Löcherreihen des Instruments einzeln, oder je

zwei und je drei zusammen anblasen in willkürlicher Combination, indem man die Stifte *ii* beliebig verstellt.

Fig. 1.



Die runden Kästen $h_0 h_0$ und $h_1 h_1$, die in der Figur nur halb gezeichnet sind, dienen dazu, durch ihre Resonanz den scharfen Ton milder und weicher zu machen.

Die Löcher in den Kästen und Scheiben sind schief eingebohrt, was zur Folge hat, dass, wenn man Luft in die Kästen eintreibt und eine oder einige Löcherreihen öffnet, der Luftstrom selbst die Scheiben herumtreibt und in immer schnellere und schnellere Bewegung versetzt.

Wenn man das Instrument anzublasen beginnt, hört man zuerst die einzelnen Luftstösse, welche puffend hervorbrechen, so oft die Löcher der Scheibe vor denen des Kastens vorbeipassiren. Diese Luftstösse folgen sich immer schneller und schneller, je mehr die Geschwindigkeit der drehenden Scheiben wächst, etwa wie die Dampfstösse einer Locomotive, die sich mit dem Eisenbahnzuge in Bewegung setzt; sie bringen dann zunächst ein Schwirren und Zittern hervor, welches immer hastiger und hastiger wird. Endlich entsteht ein dumpfer dröhnender Ton, der bei immer steigender Geschwindigkeit der Scheiben allmählich an Höhe und Stärke zunimmt.

Nehmen wir an, wir hätten endlich die Scheiben in solche Geschwindigkeit versetzt, dass sie 33 mal in der Secunde umlaufen, und wir hätten die Reihe mit acht Löchern geöffnet. Bei jeder einzelnen Umdrehung der Scheibe laufen alle acht Löcher dieser Reihe vor jedem einzelnen Loche des Kastens vorbei; also achtmal bei jeder einzelnen Umdrehung bricht ein Luftstrom aus dem Kasten hervor, und achtmal 33 oder 264 Luftstösse haben wir in der Secunde; das giebt uns das eingestrichene c unserer musikalischen Scala. Oeffnen wir dagegen die Reihe mit 16 Löchern, so haben wir doppelt so viel, nämlich 16 mal 33 oder 528 Schwingungen in der Secunde, und wir hören genau die höhere Octave jenes ersten c', nämlich das zweigestrichene c''. Oeffnen wir gleichzeitig die beiden Reihen von 8 und von 16 Löchern, so haben wir beide c zugleich und können uns überzeugen, dass wir den absolut reinen Zusammenklang einer Octave haben. Nehmen wir 8 und 12 Löcher, die das Verhältniss der Schwingungszahlen zwei zu drei ergeben, so giebt dieser Zusammenklang eine reine Quinte; 12 und 16, oder 9 und 12 geben Quarten, 12 und 15 geben eine grosse Terz, und so weiter.

Nun ist an dem Instrument aber auch noch eine Vorrichtung angebracht, um die Töne des oberen Kastens etwas höher oder niedriger zu machen. Dieser Kasten ist nämlich um seine Axe drehbar und mit einem Zahnrade verbunden, in den der an der Kurbel d befestigte Trieb eingreift. Dreht man nun die Kurbel langsam um, während eine Löcherreihe des oberen Kastens angeblasen wird, so wird der Ton etwas höher oder tiefer, je nachdem die Löcher des Kastens denen der Scheibe entgegengehen, oder in gleicher Richtung nachfolgen. Wenn sie entgegengehen, treffen sie schneller mit der nächstfolgenden Oeffnung der Scheibe zusammen, die Schwingungsdauer des Tones wird verkürzt, er wird höher. Das Umgekehrte geschieht, wenn sie nachfolgen.

Bläst man nun unten durch 8, oben durch 16 Löcher, so hat man eine reine Octave, so lange der obere Kasten stillsteht; so wie man ihn bewegt und dadurch die Höhe des oberen Tones etwas verändert, wird die Octave unrein.

Bläst man oben die Reihe von 12, unten die von 18 an, so hat man

eine reine Quinte, so lange der obere Kasten stillsteht; sowie man ihn bewegt, wird der Zusammenklang merklich schlechter.

Diese Versuche mit der Sirene lehren uns also:

1. Eine Reihe von Luftstössen, die hinreichend schnell auf einander folgen, geben einen Ton.

2. Je schneller sie auf einander folgen, desto höher wird der Ton.

3. Wenn das Verhältniss der Schwingungszahlen genau wie 1 zu 2 ist, so geben sie eine reine Octave; wenn es 2 zu 3 ist, eine reine Quinte, wenn es 3 zu 4 ist, eine reine Quarte u. s. w. Jede kleinste Veränderung dieser Verhältnisse beeinträchtigt die Reinheit der Consonanz.

Aus dem bisher Angeführten ersehen Sie, dass unser Ohr afficirt wird von Erschütterungen der Luft, deren Zahl in der Secunde innerhalb gewisser Grenzen liegt, nämlich zwischen etwa 20 und 32 000, und dass in Folge dieser Affection die Empfindung eines Tones entsteht.

Dass diese Empfindung eben eine Tonempfindung ist, beruht nicht auf der besonderen Art jener Lufterschütterungen, sondern nur in der besonderen Empfindungsweise unseres Ohres und unseres Hörnerven. Ich bemerkte schon vorher, dass wir das Zittern der Luft bei starken Tönen auch mit der Haut fühlen. So können auch Taubstumme die Luftbewegung, welche wir Schall nennen, wahrnehmen; aber sie hören sie nicht, d. h. sie haben dabei keine Tonempfindung im Ohr, sondern sie fühlen sie durch die Hautnerven und zwar in deren besonderer Empfindungsweise, als Schwirren. Auch die Grenzen der Schwingungsdauer, innerhalb deren das Ohr die Luftzitterung als Schall empfindet, hängen von der Eigenthümlichkeit des Ohres ab.

Wenn die Sirene langsam umläuft und die Luftstösse deshalb langsam erfolgen, hören Sie noch keinen Ton. Wenn sie schneller und schneller läuft, wird dadurch in der Art der Lufterschütterungen nichts Wesentliches geändert; ausserhalb des Ohres kommt dabei nichts Neues hinzu, sondern, was neu hinzukommt, ist nur die Empfindung des Ohres, welches nun erst anfängt, von den Lufterschütterungen erregt zu werden; eben deshalb geben wir den schnelleren Luftzitterungen einen neuen Namen und nennen sie Schall. Wenn Sie Paradoxen lieben, können Sie sagen, die Luftzitterung wird zum Schalle, erst wenn sie das hörende Ohr trifft.

Ich muss Ihnen jetzt weiter die Ausbreitung des Schalles durch den Luftraum beschreiben. Die Bewegung der Luftmasse, wenn ein Ton durch sie hineilt, gehört zu den sogenannten Wellenbewegungen, einer in der Physik sehr wichtigen Klasse von Be-

wegungen. Denn ausser dem Schalle ist auch das Licht eine Bewegung derselben Art.

Der Namen ist vom Vergleich mit den Wellen der Oberfläche unserer Gewässer hergeleitet, und wir werden uns an diesen auch die Eigenthümlichkeiten einer solchen Bewegung am leichtesten anschaulich machen können.

Wenn wir einen Punkt in einer ruhenden Wasserfläche in Erschütterung versetzen, z. B. einen Stein hineinwerfen, so pflanzt sich die Bewegung, welche wir hervorgerufen haben, in Form kreisförmig sich verbreitender Wellen über die Oberfläche des Wassers fort. Der Wellenkreis wird immer grösser und grösser, während an dem ursprünglich getroffenen Punkte schon wieder Ruhe hergestellt ist; dabei werden die Wellen immer niedriger, je mehr sie sich von ihrem Mittelpunkte entfernen, bis sie allmählich verschwinden. Wir unterscheiden an einem solchen Wellenzuge hervorragende Theile, die Wellenberge, und eingesenkte, die Wellenthäler.

Einen Wellenberg und ein Wellenthal zusammengenommen nennen wir eine Welle; wir messen deren Länge vom Gipfel des einen Wellenberges bis zum Gipfel des nächsten.

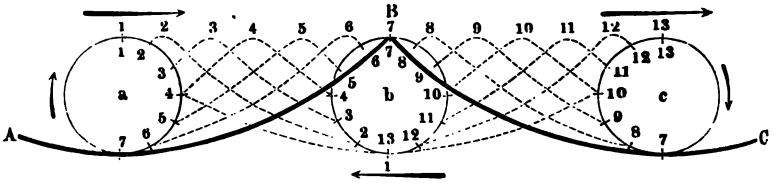
Während die Welle über die Oberfläche der Flüssigkeit hinläuft, bewegen sich nicht etwa die Wassertheilchen, aus denen sie besteht, mit ihr fort. Wir können das leicht erkennen, wenn ein Hälmchen auf dem Wasser schwimmt. Die Wellen, welche es erreichen, heben es und senken es, aber, wenn sie vorübergezogen sind, ist das Hälmchen nicht merklich von seiner Stelle gerückt.

Ein schwimmendes leichtes Körperchen macht aber nur die Bewegungen mit, welche die benachbarten Wassertheilchen machen. Wir schliessen daraus, dass auch diese nicht der Welle gefolgt, sondern, nach einigem Hin- und Herschwanken, an ihrem ersten Platze geblieben sind. Was sich also als Welle fortbewegt, sind nicht die Wassertheilchen selbst, sondern es ist nur eine Form der Oberfläche, die sich fort und fort aus neuen Wassertheilchen aufbaut. Die Bahnen der einzelnen Wassertheilchen sind vielmehr in sich geschlossene senkrecht stehende Kreisbahnen, in denen jene fortdauernd mit nahezu gleichförmiger Geschwindigkeit umlaufen, so lange Wellen über sie weggehen.

In Fig. 2 (a. f. S.) bezeichnet die starke Wellenlinie $A\,B\,C$ einen Querschnitt der Wasseroberfläche, über welche Wellen hinlaufen, in Richtung der beiden Pfeile über a und c. Die drei Kreise a, b und c bezeichnen die Bahnen gewisser Wassertheilchen der Wellenoberfläche, und zwar befindet sich das im Kreise b umlaufende Theilchen zur Zeit, wo die Wasserfläche die

Gestalt ABC hat, in B, dem höchsten Punkte seiner Bahn; die Theilchen dagegen, die in den Kreisen a und c umlaufen, gleichzeitig in den tiefsten Punkten.

Fig. 2.



Die betreffenden Wassertheilchen laufen in diesen Kreisen in der Richtung um, welche die Pfeile andeuten. Die punktirten Curven bezeichnen andere Lagen der sich fortbewegenden Wellen, welche der Lage ABC in gleichen Zwischenzeiten theils vorausgegangen (wie die Gipfel zwischen a und b), theils nachgefolgt sind (wie die Gipfel zwischen b und c). Die Lagen der Wellenberge selbst sind mit Ziffern versehen; die gleichen Ziffern in den Kreisen zeigen an, wo sich zur Zeit der betreffenden Lage der Welle die in diesen Kreisen umlaufenden Wassertheilchen befanden. Man sieht wie diese in den Kreisen um gleiche Bögen fortrücken, während sich die Wellenberge parallel der Wasserfläche um gleiche Strecken fortbewegen.

Im Kreise b sieht man ferner, wie das Wassertheilchen in seinen Lagen 1, 2, 3 den ankommenden Wellenbergen 1, 2, 3 entgegeneilt und an ihrer Vorderseite aufsteigt, dann von 4 bis 7 von dem Berge in der Richtung seiner Fortbewegung mitgenommen wird, und endlich bei 7 seinen Gipfel erreicht, dann aber hinter diesem zurückbleibt, an seiner Rückseite wieder herabsinkt, und endlich bei 13 seinen ersten Ort wieder erreicht[1]).

Alle Punkte der Wasseroberfläche beschreiben, wie Sie an dieser Zeichnung sehen, gleich grosse Kreise; die Wassertheilchen der Tiefe bewegen sich ebenso; nur dass die Kreisbahnen, in denen sie sich bewegen, nach der Tiefe hin schnell an Grösse abnehmen.

Auf solche Weise entsteht also der Schein einer fortschreitenden Bewegung längs der Oberfläche, während doch die bewegten Massentheilchen selbst sich nicht mit den Wellen fortbewegen, sondern fortdauernd in ihrer engen Kreisbahn umlaufen.

Um nun von den Wasserwellen auf die Schallwellen zurück zu kommen, denken Sie sich statt des Wassers eine zusammendrückbare elastische Flüssigkeit, wie die Luft und die Wasserwellen durch eine auf die Oberfläche gelegte feste Platte niedergedrückt, so aber, dass die Flüssigkeit dem Druck nirgend seitlich

---

[1]) In der Vorlesung wurde Fig. 2 durch ein bewegliches Modell ersetzt, in welchem die beweglichen und durch Fäden verbundenen Punkte wirklich in Kreisen umliefen, während die verbindenden elastischen Fäden die Wasseroberfläche darstellten.

ausweicht. Unter den Wellenbergen, wo am meisten Flüssigkeit sich befindet, wird sie dabei am stärksten verdichtet werden; in den Wellenthälern weniger. Sie bekommen also jetzt statt der Wellenberge verdichtete, statt der Wellenthäler weniger dichte Luftschichten. Nun stellen Sie sich vor, dass diese plattgepressten Wellen sich ebenso fortpflanzten wie vorher, und dass auch die senkrechten Kreisbahnen der einzelnen Wassertheilchen in horizontale gerade Linien zusammengepresst seien. So bleibt denn auch für die Schallwellen die Eigenthümlichkeit bestehen, dass die Lufttheilchen in ihrer geradlinigen Bahn nur hin und her schwanken, während die Welle selbst eine sich fortpflanzende Bewegungsform ist, die sich fortdauernd aus neuen Lufttheilchen zusammensetzt. Damit hätten wir zunächst Schallwellen, die sich von ihrem Mittelpunkte in horizontaler Richtung ausbreiten.

Aber die Ausbreitung der Schallwellen ist nicht, wie die der Wasserwellen, auf eine horizontale Fläche beschränkt, sondern sie findet nach allen Richtungen in den Raum hinein statt. Denken Sie die Kreise, welche ein in das Wasser geworfener Stein erzeugt, nach allen Richtungen des Raumes hin auslaufend, so werden daraus kugelförmige Luftwellen, in denen sich der Schall verbreitet.

Wir können also fortfahren, uns an dem Bilde der Wasserwellen die Eigenthümlichkeiten der Schallbewegung anschaulich zu machen.

Die Länge der Wasserwellen (d. h. von Wellenberg zu Wellenberg gemessen) ist ausserordentlich verschieden, von den kleinen Kräuselungen der Oberfläche, wie sie ein fallender Tropfen oder ein leichter Windhauch auf der spiegelnden Fläche erregt, bis zu den Wellen, die den Schweif eines Dampfschiffes bildend, einen Schwimmer oder einen Kahn schon tüchtig zu schaukeln vermögen, und von diesen wieder bis zu den Wogen des zürnenden Oceans, in deren Thälern Linienschiffe mit der Länge ihres Kiels Platz finden, und deren Berggipfel nur der überschauen kann, der in die Masten emporgestiegen ist. Aehnliche Unterschiede finden wir bei den Schallwellen. Die kleinen Kräuselungen des Wassers von geringer Wellenlänge entsprechen den hohen Tönen, die langen Meereswogen den tiefen. Das Contra-*C* z. B. hat Wellen von 35 Fuss Länge, seine höhere Octave halb so lange, während die höchsten Claviertöne nur 3 Zoll lange Wellen geben.

Sie sehen, dass die Länge der Wellen mit der Höhe des Tones zusammenhängt; ich füge hinzu, dass die Höhe der Wellenberge

oder auf die Luft übertragen, die Stärke der abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen, der Stärke und Intensität des Tones entspricht. Aber Wellen von gleicher Höhe können auch eine verschiedene Form haben. Die Gipfel ihrer Berge können z. B. abgerundet oder spitz sein. Entsprechende Verschiedenheiten können auch bei Schallwellen von gleicher Tonhöhe und Stärke vorkommen; bei ihnen ist die Klangfarbe das, was der Form bei den Wasserwellen entspricht. Man überträgt den Begriff der Form von den Wasserwellen auch auf die Schallwellen.

Denken Sie sich Wasserwellen verschiedener Form plattgedrückt, so wird zwar die geebnete Oberfläche nun keine Formverschiedenheit mehr zeigen, aber im Inneren der Wassermasse werden wir verschiedene Arten von Vertheilung des Druckes und der Dichtigkeit haben, die den Formverschiedenheiten der ungepressten Oberfläche entsprechen.

In diesem Sinne können wir also auch von einer Form der Schallwellen sprechen und sie darstellen. Wir lassen die Curve sich heben, wo der Druck wächst, sich senken, wo er abnimmt; gleichsam als hätten wir unterhalb der Curve eine zusammengepresste Flüssigkeit, die sich bis zur Höhe der Curve ausdehnen müsste, um ihre natürliche Dichtigkeit zu erreichen.

Bisher können wir leider erst in sehr wenigen Fällen Rechenschaft von den Formen der Schallwellen geben, die den Klangfarben verschiedener tönender Körper entsprechen.

Unter den Schallwellen, die wir genauer zu betimmen vermögen, ist eine Form von grosser Wichtigkeit, welche wir die einfache oder reine Wellenform nennen können; sie ist dargestellt in Fig. 3. Bei Wasserwellen sieht man sie nur, wenn sie im Ver-

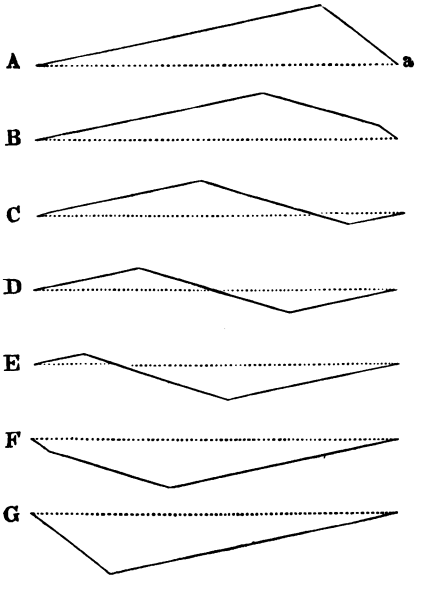
Fig. 3.

gleich zu ihrer Länge verhältnissmässig niedrig sind, und wenn sie über eine spiegelnde Wasserfläche, ohne störende äussere Einflüsse und ohne vom Winde gebläht zu sein, ablaufen. Berg und Thal sind sanft abgerundet, gleich breit und symmetrisch, so dass die Berge, wenn man sie umgekehrt in die Thäler legte, gerade hinein passen würden. Bestimmter zu charakterisiren wäre diese Wellenform dadurch, dass die Wassertheilchen in genau kreisförmigen Bahnen von geringem Durchmesser mit genau gleichförmiger

reschwindigkeit umlaufen. Dieser einfachen Wellenform entspricht ine Art von Tönen, die wir, aus nachher anzuführenden Gründen, ı Bezug auf ihre Klangfarbe einfache Töne nennen wollen. olche Töne erhalten wir, indem wir eine angeschlagene Stimmabel vor die Mündung einer gleich gestimmten Resonanzröhre alten. Auch scheint der Ton klangvoller menschlicher Stimmen, relche in ihren mittleren Lagen den Vocal *U* singen, sich nicht ehr weit von dieser Wellenform zu entfernen.

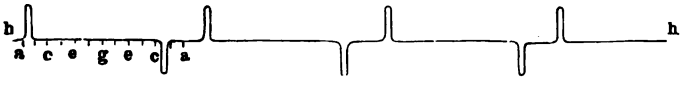
Ausserdem kennt man die Bewegungsgesetze der Saiten genau enug, um in einigen Fällen die Bewegungsform, die sie der uft mittheilen, bestimmen zu können. So stellt zum Beispiel Fig. 4 ie Formen dar, welche eine mit einem spitzen Stift gerissene aite, wie die einer Zither, nach einander annimmt. *Aa* stellt die Form der Saite dar, welche sie in dem Moment des Anschlags annimmt, dann folgen nach gleichen Zwischenzeiten die Formen *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, dann wieder rückwärts *F*, *E*, *D*, *C*, *B*, *A*, und so fort sich immer wiederholend. Die Bewegungsform, welche von einer solchen Saite mittelst des Resonanzbodens an die Luft übertragen wird, entspricht etwa der in Fig. 5 dargestellten gebrochenen Linie, wobei *hh* der Gleichgewichtslage entspricht, und die Buchstaben *abcdefg* die

Fig. 4.



tellen der Wellenlinie bezeichnen, die durch die Wirkung der nzelnen in Fig. 4 durch entsprechende grosse Buchstaben bezeichneten Saitenformen hervorgebracht werden. Man sieht leicht,

Fig. 5.



wie, auch abgesehen von der Grösse, die Form dieser Wellen (die auf einer Wasserfläche allerdings nicht würden vorkommen können) abweicht von der der Fig. 3, indem die Saite nur eine Reihe kurzer und abwechselnd nach entgegengesetzten Seiten gerichteter Stösse auf die Luft überträgt[1]).

Die Luftwellen, welche durch den Ton einer Violine hervorgebracht werden, würden bei entsprechender Darstellungsweise durch die Curve Fig. 6 darzustellen sein. Während jeder Schwingungsperiode wächst der Druck gleichmässig, und fällt am Ende derselben plötzlich wieder auf sein Minimum.

Fig. 6.

Solchen Verschiedenheiten der Tonwellenform entspricht also die Verschiedenheit der Klangfarbe; ja wir können den Vergleich noch weiter treiben. Je gleichmässiger gerundet die Wellenform ist, desto weicher und milder die Klangfarbe; je abgerissener und eckiger die Wellenform, desto schärfer der Klang. Die Stimmgabeln mit ihrer rundlichen Wellenform, Fig. 3, haben einen ausserordentlich weichen Klang, der Klang von Zither und Violine zeigt ähnliche Schärfe wie ihre Wellenformen, Fig. 5 und 6.

Endlich möchte ich nun Ihre Aufmerksamkeit noch einem lehrreichen Schauspiele zulenken, das ich nie ohne ein gewisses physikalisches Vergnügen gesehen habe, weil es dem körperlichen Auge auf der Wasserfläche anschaulich macht, was sonst nur das geistige Auge des mathematischen Denkers in der von Schallwellen durchkreuzten Luft erkennen kann. Ich meine das Uebereinanderliegen von vielen verschiedenen Wellensystemen, deren jedes einzelne seinen Weg ungestört fortsetzt. Wir können es von jeder Brücke aus auf der Oberfläche unserer Flüsse sehen, am erhabensten und reichsten aber, wenn wir auf einem hohen Punkte am Meeresufer stehen.

An den steilen, waldreichen Küsten des Samlandes, wo den Bewohnern Ostpreussens das Meer die Stelle der Alpen vertritt, habe ich oftmals Stunden mit seiner Betrachtung verbracht.

---

[1]) Es ist hierbei angenommen, dass der Resonanzboden und die ihn berührende Luft dem Zuge, den das Ende der Saite ausübt, unmittelbar folgen, ohne eine merkliche Rückwirkung auf die Bewegung der Saite auszuüben.

Selten fehlt es dort an verschieden langen, nach verschiedener Richtung hin sich fortpflanzenden Wellensystemen in unabsehbarer Zahl. Die längsten pflegen vom hohen Meer gegen das Ufer zu laufen; kürzere entstehen, wo die grösseren brandend zerschellen, und laufen wieder hinaus in das Meer. Vielleicht stösst noch ein Raubvogel nach einem Fische und erregt ein System von Kreiswellen, die, über die anderen hin, auf der wogenden Fläche schaukelnd, sich so regelmässig erweitern, wie auf dem stillen Spiegel eines Landsees. So entfaltet sich vor dem Beschauer von dem fernen Horizonte her, wo zuerst, aus der stahlblauen Fläche auftauchend, weisse Schaumlinien die herankommenden Wellenzüge verrathen, bis zu dem Strande unter seinen Füssen, wo sie ihre Bogen auf den Sand zeichnen, ein erhabenes Bild unermesslicher Kraft und immer wechselnder Mannigfaltigkeit. Aber diese verwirrt nicht, sondern sie fesselt und erhebt den Geist, da das Auge Ordnung und Gesetz leicht in ihr erkennt.

Ebenso müssen Sie sich nun die Luft eines Concert- oder Tanzsaales von einem bunten Gewimmel gekreuzter Wellensysteme, nicht bloss in der Fläche, sondern nach allen ihren Dimensionen, durchschnitten denken. Von dem Munde der Männer gehen weitgedehnte 6- bis 12füssige Wellen aus, kürzere $1^1/_2$- bis 3füssige von den Lippen der Frauen. Das Knistern der Kleider erregt kleine Kräuselungen der Luft; jeder Ton des Orchesters entsendet seine Wellen, und alle diese Systeme verbreiten sich kugelförmig von ihrem Ursprungsorte, schiessen durcheinander, werden von den Wänden des Saales reflectirt, und laufen hin und wieder, bis sie endlich, von neu entstandenen übertönt, erlöschen.

Wenn dieses Schauspiel nun auch dem körperlichen Auge verhüllt bleibt, so kommt uns ein anderes Organ zu Hülfe, um uns Kunde davon zu geben, nämlich das Ohr. Es zerlegt das Durcheinander der Wellen, welches in einem solchen Falle viel verwirrender sein würde als die Durchkreuzung der Meereswogen, wieder in die einzelnen Töne, die es zusammensetzen. Es unterscheidet die Stimmen der Männer, der Frauen, ja der einzelnen Individuen, die Klänge der verschiedenen musikalischen Instrumente, das Rauschen der Kleider, die Fusstritte und so weiter.

Wir müssen näher erörtern, was dabei geschieht. Wenn, wie wir vorher annahmen, auf die wogende Meeresfläche ein Raubvogel stösst, so entstehen Wellenringe, die sich auf der bewegten Fläche so langsam und regelmässig ausbreiten, wie auf der ruhenden.

Diese Ringe werden in die gekrümmte Oberfläche der Wogen

genau ebenso hineingeschnitten, wie sonst in die ebene des ruhenden Wasserspiegels. Die Form der Wasseroberfläche wird in diesen wie in anderen verwickelteren Fällen dadurch bestimmt, dass die Höhe jedes Punktes gleich wird der Höhe sämmtlicher, in diesem Augenblicke dort zusammentreffender Wellenberge zusammengenommen, wovon abzuziehen ist die Summe aller dort gleichzeitig hintreffenden Wellenthäler. Man nennt eine solche Summe positiver Grössen (der Wellenberge) und negativer (der Wellenthäler), — welche letzteren, statt sich zu summiren, abzuziehen sind — eine algebraische Summe, und kann in diesem Sinne sagen: die Höhe jedes Punktes der Wasserfläche wird gleich der algebraischen Summe aller Wellentheile, die gleichzeitig dort zusammentreffen.

Bei den Schallwellen ist es nun ähnlich. Auch sie summiren sich an jeder Stelle des Luftraumes, sowie am Ohr des Hörenden. Auch bei ihnen wird die Verdichtung und die Geschwindigkeit der Lufttheilchen im Gehörgange gleich der algebraischen Summe der einzelnen Werthe der Verdichtung und Geschwindigkeit, welche den Schallwellenzügen, einzeln genommen, zukommen. Diese eine Bewegung der Luft, welche durch das Zusammenwirken verschiedener tönender Körper entsteht, muss nun das Ohr wieder in Theile zerlegen, welche den Einzelwirkungen entsprechen. Dabei befindet es sich unter viel ungünstigeren Bedingungen als das Auge, welches die ganze wogende Fläche auf einmal überschaut, während das Ohr natürlich nur die Bewegung der ihm zunächst benachbarten Lufttheilchen wahrnehmen kann. Und doch löst das Ohr jene Aufgabe mit der grössten Genauigkeit, Sicherheit und Bestimmtheit. Es muss also die Fähigkeit haben, alle die einzelnen zusammenwirkenden Töne aus der Bewegung eines einzigen Punktes im Luftraume herauszufinden.

Für die Erklärung dieser wichtigen Fähigkeit des Ohres scheinen neuere anatomische Entdeckungen eine Aussicht zu gewähren.

Sie werden Alle schon an musikalischen Instrumenten, namentlich an Saiten, das Phänomen des Mittönens wahrgenommen haben. Die Saite eines Pianoforte z. B., deren Dämpfer man aufgehoben hat, geräth in Schwingung, sobald ihr eigener Ton in der Nähe und stark genug angegeben wird. Hört der erregende Ton auf, so hört man denselben Ton auf der Saite noch eine Weile nachklingen. Legt man Papierschnitzelchen auf die Saite, so werden sie abgeworfen, sobald ihr Ton angegeben wird. Das Mittönen

der Saite beruht darauf, dass die schwingenden Lufttheilchen gegen die Saite und ihren Resonanzboden stossen.

Jeder einzelne Wellenberg der Luft, der an der Saite vorbeigeht, wirkt allerdings zu schwach, um eine merkliche Bewegung der Saite hervorzubringen. Wenn aber eine lange Reihe von Wellenbergen so auf die Saite stossen, dass jeder folgende die kleine Erschütterung vermehrt, welche die vorigen zurückgelassen haben, so wird die Wirkung endlich merkbar. Es ist ein Vorgang derselben Art, wie bei einer Glocke von ungeheurem Metallgewicht, die sich unter dem Stosse des kräftigsten Mannes kaum merklich bewegt, während ein Knabe sie allmählich in die gewaltigsten Schwingungen zu versetzen vermag, indem er taktmässig in demselben Rhythmus, wie die Glocke ihre Pendelschwingungen vollführt, an dem Stricke zieht.

Diese eigenthümliche Verstärkung der Schwingungen hängt hierbei ganz wesentlich von dem Rhythmus ab, in welchem der Zug ausgeübt wird. Ist die Glocke einmal in Pendelschwingungen von mässiger Breite versetzt worden, und zieht der Knabe am Seile immer gerade in der Zeit, wo das Seil sich senkt, und wo sein Zug der schon vorhandenen Bewegung der Glocke gleichgerichtet ist, so wird jeder Zug diese Bewegung, wenn auch nur wenig, verstärken; allmählich wird sie aber dadurch zu einer beträchtlichen Grösse anwachsen.

Wollte der Knabe in unregelmässigen Zwischenzeiten seine Kraft anwenden, bald so, dass er die Glockenbewegung dadurch verstärkte, bald so, dass er ihr entgegenarbeitete, so würde er keinen erheblichen Erfolg hervorbringen.

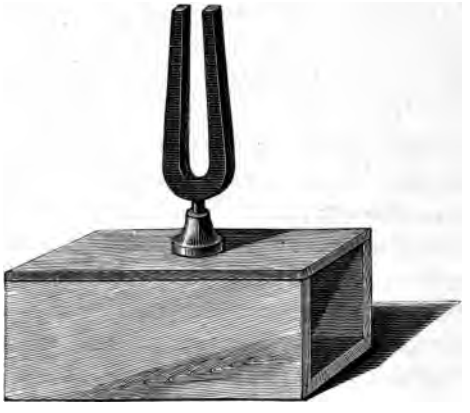
Wie der Knabe die Glocke, so können auch die Zitterungen der leichten und leicht beweglichen Luft die schwere und feste Stahlmasse einer Stimmgabel in Bewegung setzen, wenn der Ton, der in der Luft erregt wird, genau im Einklange mit dem der Gabel ist; weil auch in diesem Falle jeder Anprall einer Luftwelle gegen die Gabel die von den vorausgehenden Stössen ähnlicher Art erregte Bewegung verstärkt.

Am besten benutzt man eine Gabel, die, wie Fig. 7 (a. f. S.), auf einem Resonanzboden befestigt ist, und erregt den Ton in der Luft durch eine zweite Gabel ähnlicher Art von genau gleicher Stimmung. Schlägt man die eine an, so findet man nach wenigen Secunden auch die zweite tönend. Dämpft man den Ton der ersten Gabel, indem man ihre Zinken einen Augenblick mit dem

Finger berührt, so unterhält die zweite den Ton. Nun bringt aber die zweite wiederum die erste in Mitschwingung und so fort.

Klebt man aber nur ein wenig Wachs auf die Enden der einen Gabel, wodurch ihre Tonhöhe für das Ohr kaum merklich von der der anderen Gabel abweichend gemacht wird, so hört das Mitschwingen der zweiten Gabel auf, weil die Schwingungszeiten nicht mehr gleich sind. Es werden also die Stösse, welche die von der einen Gabel erregten Luftschwingungen auf den Resonanzboden der anderen hervorbringen, zwar eine Zeit lang den Bewegungen dieser zweiten Gabel gleichsinnig sein und sie deshalb verstärken, nach kurzer Zeit aber aufhören es zu sein und deshalb die vorher gemachte Wirkung wieder zerstören.

Fig. 7.



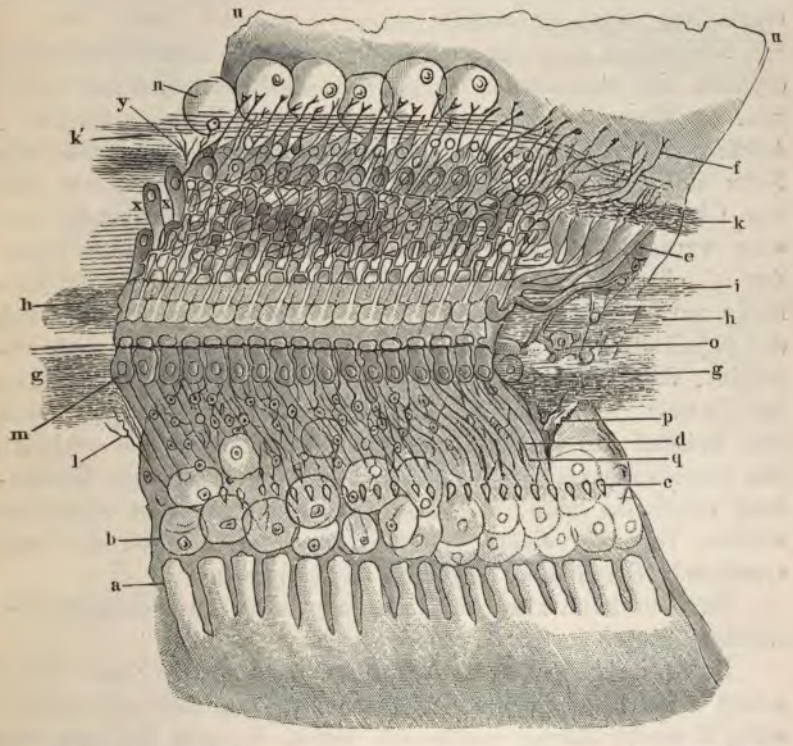
Bei leichteren und beweglicheren tonfähigen Körpern, z. B. den Saiten, wird eine geringere Zahl von Luftstössen schon hinreichen, sie in Bewegung zu setzen. Solche Körper werden deshalb viel leichter als Stimmgabeln in Mitschwingung versetzt, auch bei einem weniger genauen Einklange des erregenden und des eigenen Tones.

Wenn neben einem Clavier mehrere Töne gleichzeitig angegeben werden, so kann jede einzelne Claviersaite immer nur dann mitschwingen, wenn unter den angegebenen Tönen ihr eigener Ton ist. Denken Sie sich den ganzen Dämpfer des Claviers gehoben und auf allen Saiten Papierschnitzel gelegt, welche abfliegen sollen, sowie die Saite erschüttert wird; denken Sie sich nun mehrere menschliche Stimmen oder Instrumente in der Nähe ertönend, so werden die Schnitzel von allen denjenigen und nur von denjenigen Saiten abfliegen, deren Ton angegeben wird. Sie sehen, dass also auch das Clavier das Wellengewirre der Luft in seine einzelnen Bestandtheile auflöst.

Was in unserem Ohr in demselben Falle geschieht, ist vielleicht dem eben beschriebenen Vorgange im Clavier sehr ähnlich.

In der Tiefe des Felsenbeines, in welches unser inneres Ohr hineingehöhlt ist, findet sich nämlich ein besonderes Organ, die Schnecke. Dasselbe wird so genannt, weil es eine mit Wasser gefüllte Höhlung bildet, welche der inneren Höhlung des Gehäuses unserer gewöhnlichen Weinbergschnecke durchaus ähnlich ist. Nur ist der Gang der Schnecke in unserem Ohre, seiner ganzen Länge nach, durch zwei in der Mitte seiner Höhe ausgespannte Mem-

Fig. 8.



branen in drei Abtheilungen, eine obere, eine mittlere und eine untere geschieden. In der mittleren Abtheilung sind durch den Marchese Corti sehr merkwürdige Bildungen entdeckt worden: unzählige, mikroskopisch kleine Plättchen, welche, wie die Tasten eines Claviers, regelmässig neben einander liegend, an ihrem einen Ende mit den Fasern des Hörnerven in Verbindung stehen, an ihrem anderen der ausgespannten Membran anhängen.

Fig. 8 zeigt diese ausserordentlich verwickelten Einrichtungen von einem Theil der Schneckenscheidewand. Die Bögen, welche

bei *d* die Membran verlassen, bei *e* sich wieder an sie festsetzen und zwischen *m* und *o* ihre grösste Höhe erreichen, sind wahrscheinlich die schwingungsfähigen Gebilde. Sie sind umsponnen von unzähligen Fäserchen, unter denen Nervenfasern erkennbar sind, die durch die Löcher bei *c* an sie herantreten. Auch die querlaufenden Fasern bei *g h i k*, die Zellen bei *o* scheinen dem Nervensystem anzugehören.

Solcher Bögen *d e* liegen etwa 3000 auf der ganzen Länge von der Scheidewand der Schnecke, wie die Tasten eines Claviers, regelmässig neben einander.

Neuerdings sind nun auch in dem anderen Theile des Gehörorganes, dem sogenannten Vorhofe, wo die Nerven sich auf häutigen, im Wasser schwimmenden Säckchen verbreiten, elastische Anhängsel der Nervenenden gefunden worden. Sie haben die Form steifer Härchen. Darüber, dass diese Gebilde durch die zum Ohr geleiteten Schallerschütterungen in Mitschwingung versetzt werden, lässt ihre anatomische Anordnung kaum einen Zweifel. Stellen wir weiter die Vermuthung auf, die freilich vorläufig nur Vermuthung bleibt, mir aber bei genauer Ueberlegung der physikalischen Leistungen des Ohres sehr wahrscheinlich erscheint, dass jedes solches Anhängselchen, ähnlich den Saiten des Claviers, auf einen Ton abgestimmt ist, so sehen Sie, nach dem Beispiel des Claviers, dass nur, wenn dieser Ton erklingt, das betreffende Gebilde schwingen und die zugehörige Nervenfaser empfinden kann, und dass die Gegenwart jedes einzelnen solchen Tones in einem Tongewirr auch stets durch die entsprechende Empfindung angezeigt werden muss.

Das Ohr kann also, der Erfahrung nach, zusammengesetzte Luftbewegungen in ihre Theile zerlegen.

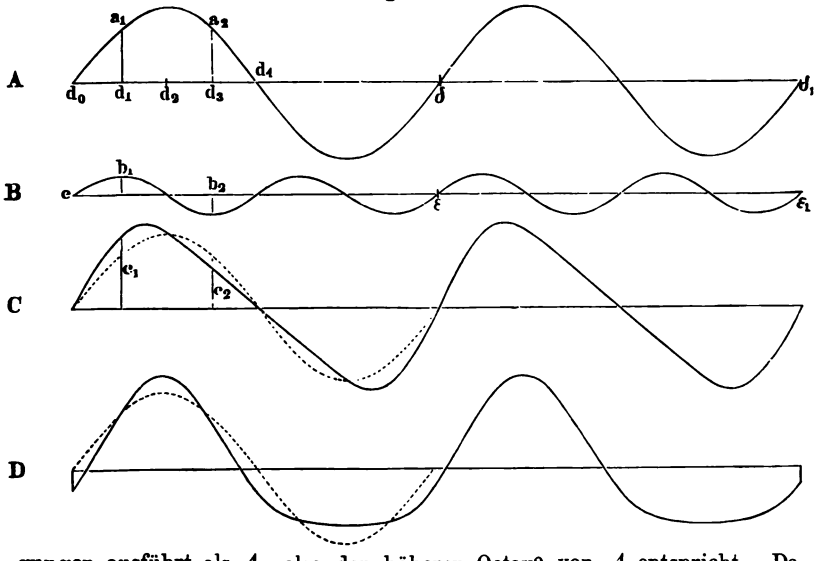
Unter zusammengesetzten Luftbewegungen haben wir bisher solche verstanden, die durch Zusammenwirkung mehrerer gleichzeitig tönender Körper entstanden waren. Da nun die Form der Tonwellen der verschiedenen musikalischen Instrumente verschieden ist, so wird es vorkommen können, dass die Schwingungsart der Luft, die ein solcher Ton im Gehörgange erregt, genau gleich ist der Schwingungsart, welche in einem anderen Falle von zwei oder mehreren anderen zusammenwirkenden Instrumenten im Gehörgange erzeugt wird. Wenn das Ohr im letzteren Falle die Bewegung in einzelne Theile zerlegt, wird es nicht umhin können, dasselbe auch im ersteren Falle zu thun, wobei der Ton nur aus einer Tonquelle herstammt. Und in der That geschieht dies.

Ich erwähnte vorher der Wellenform mit sanft abgerundeten Thälern und Bergen, welche ich die einfache oder reine nannte. In Bezug auf diese hat der französische Mathematiker Fourier einen berühmten und wichtigen Satz erwiesen, den man aus der mathematischen Sprache ins Deutsche ungefähr so übersetzen kann: Jede beliebige Wellenform kann aus einer Anzahl einfacher Wellen von verschiedener Länge zusammengesetzt werden. Die längste dieser einfachen Wellen hat dieselbe Länge wie die gegebene Wellenform, die anderen die Hälfte, ein Drittel, ein Viertel u. s. w. dieser Länge.

Man kann durch das verschiedene Zusammentreffen der Thäler und Berge dieser einfachen Wellen eine unendliche Mannigfaltigkeit der Formen hervorbringen.

So stellen zum Beispiel die Wellencurven *A* und *B*, Fig. 9, Wellen einfacher Töne vor, von denen *B* in der gleichen Zeit doppelt so viel Schwin-

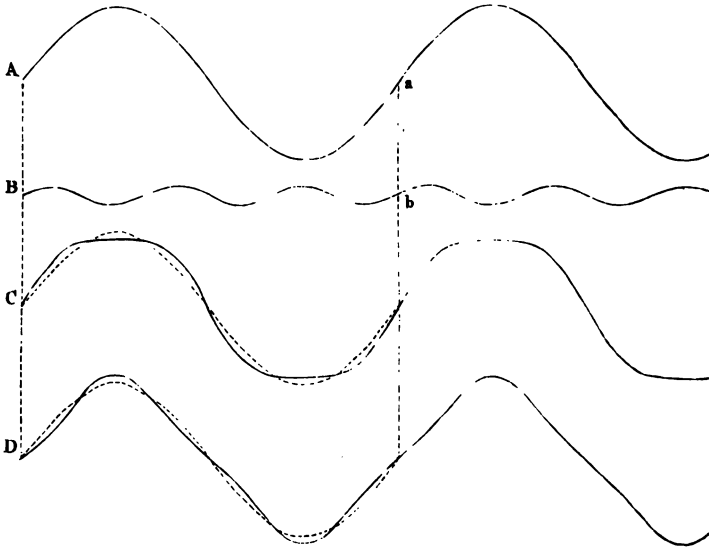
Fig. 9.



gungen ausführt als *A*, also der höheren Octave von *A* entspricht. Dagegen stellen *C* und *D* Wellen dar, die durch Uebereinanderlagerung von *A* und *B* entstehen. Die punktirte Curve im Anfange beider Figuren ist eine Wiederholung des Anfangs von *A*. In *C* ist *c*, der Anfang der Curve *B*, auf den Anfang von *A* gelegt, in *D* dagegen das erste Thal b_2 der Curve *B* auf den Anfang von *A*. Dadurch entstehen nun zwei verschiedene zusammengesetzte Curven, von denen die obere steil ansteigende und flacher abfallende Berge hat, deren Gipfel, umgekehrt, gerade in die Thäler passen würden, während *D* spitze Berge und flache Thäler hat, die aber nach vorn und hinten symmetrisch abfallen.

Noch andere Formen zeigt Fig. 10, auch aus je zwei einfache
A und *B* zusammengesetzt, wobei aber *B* in gleicher Zeit drei Ms
Schwingungen macht als *A*, also der Duodecime von *A* entsprich
und *D* sind die punktirten Curven auch Wiederholungen von *A*.
flache Gipfel und flache Thäler, *D* spitze Gipfel und spitze Thäler

Fig. 10.



Diese einfachsten Beispiele mögen genügen, um eine Vorstell
der Mannigfaltigkeit der Formen zu geben, die durch solche Zu
setzung hergestellt werden können. Wenn man nun nicht zwei,
viele einfache Wellen nimmt und deren Höhe und Anfangspunkt
verändert, so kann man zahllose Abänderungen erzielen, und in
jede beliebige Form von Wellen herstellen [1]).

Wenn sich verschiedene einfache Wellen auf der Wass
zusammensetzen, so bleibt freilich die zusammengesetzte
form nur einen Augenblick bestehen, weil die längeren
schneller forteilen als die kürzeren, sie trennen sich als
wieder, und das Auge erhält Gelegenheit zu erkenne
mehrere Wellenzüge vorhanden sind. Wenn aber Scha
in ähnlicher Weise zusammengesetzt sind, so trennen
nicht, weil durch den Luftraum lange und kurze Wel

[1]) Ueberhängende Theile dürfen die Wellen freilich hierbei nicl
solche würden aber auch keine mögliche Bedeutung in den Sch
finden.

gleicher Geschwindigkeit sich fortpflanzen; die zusammengesetzte Welle bleibt wie sie ist, indem sie fortgeht; wenn sie das Ohr trifft, kann ihr Niemand ansehen, ob sie ursprünglich in dieser Form aus einem musikalischen Instrumente hervorgegangen ist, oder ob sie sich unterwegs aus zwei oder mehreren Wellenzügen zusammengesetzt hat.

Was thut nun das Ohr, löst es sie auf, oder fasst es sie als Ganzes? — Die Antwort darauf kann nach dem Sinne der Frage verschieden ausfallen, denn wir müssen hier Zweierlei unterscheiden. Erstens, die Empfindung im Hörnerven, wie sie sich ohne Einmischung geistiger Thätigkeit entwickelt; zweitens, die Vorstellung, welche wir uns bilden in Folge dieser Empfindung. Wir müssen also gleichsam unterscheiden: das leibliche Ohr des Körpers und das geistige Ohr des Vorstellungsvermögens. Das leibliche Ohr thut immer genau dasselbe, was der Mathematiker thut vermittelst des Fourier'schen Satzes, und was das Clavier mit einer zusammengesetzten Tonmasse thut: es löst die Wellenformen, welche nicht, wie die Stimmgabeltöne, schon ursprünglich der einfachen Wellenform entsprechen, in eine Summe von einfachen Wellen auf; es empfindet den Ton einzeln, welcher einer einfachen Welle zugehört, mag nun die Welle ursprünglich als solche aus der Tonquelle hervorgegangen sein, oder sich erst unterwegs zusammengesetzt haben.

Schlagen wir zum Beispiel eine Saite an, so giebt sie, wie wir schon gesehen haben, einen Klang, dessen Wellenform weit abweicht von der eines einfachen Tones. Indem das Ohr diese Wellenform zerlegt in eine Summe einfacher Wellen, hört es zugleich eine Reihe einfacher Töne, die diesen Wellen entsprechen.

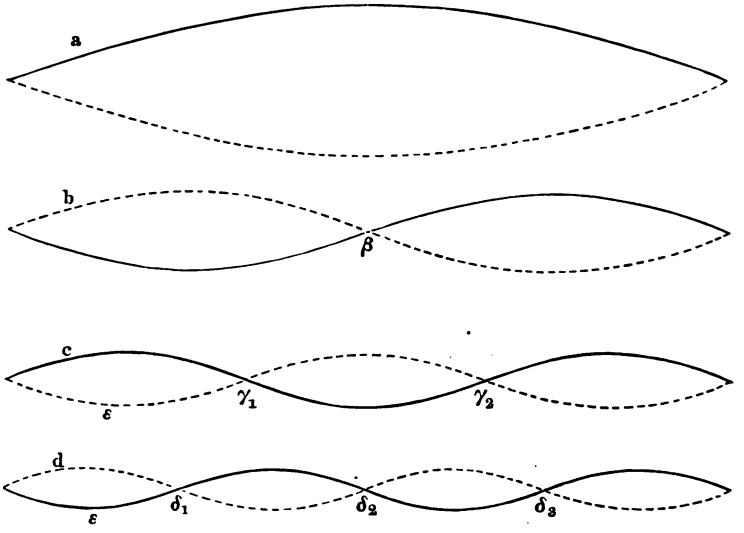
Die Saiten bieten ein besonders günstiges Beispiel für eine solche Untersuchung, weil sie während ihrer Bewegung sehr verschiedene Formen annehmen können, die, wie die Wellenformen der Luft, als aus einfachen Wellen zusammengesetzt, angesehen werden können. Die auf einander folgenden Formen der Bewegung einer mit einem Stäbchen angeschlagenen Saite sind schon oben in Fig. 4 dargestellt worden. Fig. 11 (a. f. S.) zeigt eine Anzahl von anderen Schwingungsformen einer Saite, welche einfachen Tönen entsprechen; die ausgezogene Linie bezeichnet die weiteste Ausbiegung der Saite nach der einen, die punktirte Linie die nach der anderen Richtung hin. Bei *a* giebt die Saite ihren Grundton, den tiefsten einfachen Ton, den sie geben kann, sie schwingt in ganzer Länge bald nach der einen, bald nach der anderen Seite. Bei *b* zerfällt sie in zwei schwingende Abtheilungen, zwischen denen ein ruhender, sogenannter Knotenpunkt β bleibt; der Ton ist dann die höhere Octave des Grundtones, wie ihn auch jede ihrer beiden Abtheilungen für sich geben würde, und macht doppelt so viele Schwingungen als der Grundton. Bei *c* haben wir zwei Knotenpunkte,

drei schwingende Abtheilungen und dreimal so viele Schwingungen als beim Grundton, also die Duodecime von diesem; bei *d* vier Abtheilungen und viermal so viele Schwingungen, die zweite höhere Octave des Grundtones.

Ebenso können nun auch noch Schwingungsformen mit 5, 6, 7 und mehr schwingenden Abtheilungen vorkommen, deren Schwingungszahl im Verhältniss dieser Zahlen grösser ist als die des Grundtones, und alle anderen Schwingungsformen der Saite können betrachtet werden als zusammengesetzt aus einer Summe solcher einfacher Schwingungen.

Alle mit Knotenpunkten versehenen Schwingungsformen der Saite kann man hervorbringen, wenn man in einem der betreffenden Knotenpunkte die

Fig. 11.

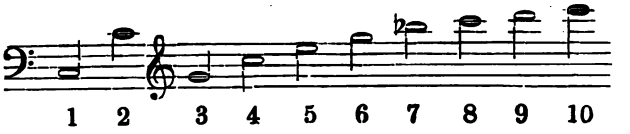


Saite leise mit dem Finger oder einem Stäbchen berührt, während man sie, sei es mit dem Bogen, sei es durch Reissen mit dem Finger oder durch Anschlag mit einem Clavierhammer zum Tönen bringt. Es giebt dies die sogenannten Flageolettöne der Saiten, wie sie von Violinspielern vielfach gebraucht werden.

Wenn man nun eine Saite irgendwie zum Tönen gebracht hat, und sie dann einen Augenblick leicht mit dem Finger bei β Fig. 11 *b* in ihrem Mittelpunkte berührt, so werden die Schwingungsformen *a* und *c* durch diese Berührung gehindert und gedämpft, die Schwingungsformen *b* und *d* aber, bei denen der Punkt β ruht, werden durch die Berührung nicht gehemmt, sondern fahren fort zu tönen. So kann man leicht erkennen, ob gewisse Glieder aus der Reihe der einfachen Töne einer Saite bei einer gegebenen Anschlagsweise in deren Klang enthalten sind, und kann sie dem Ohre einzeln hörbar machen.

Hat man diese einfachen Töne aus dem Klange der Saite in solcher Weise einzeln hörbar gemacht, so gelingt es bei genauer Aufmerksamkeit auch bald, sie in dem unveränderten Klange der ganzen Saite zu unterscheiden.

Die Reihe der Töne, welche sich hierbei zu einem gegebenen Grundton gesellen, ist übrigens eine ganz bestimmte; es sind die Töne, welche zwei, drei, vier und mehr Mal so viele Schwingungen machen als der Grundton. Man nennt sie die harmonischen Obertöne des Grundtones. Nennen wir den letzteren *c*, so wird ihre Reihe in Notenschrift, wie folgt, gegeben.



Wie die Saiten, so geben fast alle anderen musikalischen Instrumente Tonwellen, die nicht genau der reinen Wellenform entsprechen, sondern sich aus einer grösseren oder geringeren Zahl von einfachen Wellen zusammensetzen. Das Ohr analysirt sie alle nach dem Fourier'schen Satze, trotz dem besten Mathematiker, und hört bei gehöriger Aufmerksamkeit die, den einzelnen einfachen Wellen entsprechenden, Obertöne heraus. Dies entspricht auch ganz unserer Annahme über das Mitschwingen der Corti'schen Organe. Es lehrt nämlich sowohl die Erfahrung am Claviere, als auch die mathematische Theorie für alle mittönenden Körper, dass nicht bloss der Grundton, sondern ebenso die vorhandenen Obertöne des erregenden Tones das Mitschwingen bewirken. Daraus folgt, dass auch in der Schnecke des Ohres jeder äussere Ton nicht bloss das seinem Grundton entsprechende Plättchen und die zugehörigen Nervenfasern in Mitschwingung setzen, sondern dass er auch diejenigen Theile, welche den Obertönen entsprechen, erregen wird, so dass letztere ebenso gut empfunden werden müssen als der Grundton.

Danach ist ein einfacher Ton ein solcher, der durch einen Wellenzug von der reinen Wellenform erregt wird. Alle anderen mehrfachen Tonempfindungen, wie sie von den meisten musikalischen Instrumenten hervorgebracht werden, sind von anderen Wellenformen erregt.

Daraus folgt, dass, streng genommen, für die Empfindung alle Töne der musikalischen Instrumente als Accorde mit vorwiegendem Grundton zu betrachten sind.

Diese ganze Lehre von den Obertönen wird Ihnen vielleicht neu und seltsam vorkommen. Die Wenigsten unter Ihnen, so oft Sie auch Musik gehört oder selbst gemacht haben, und eines so guten musikalischen Gehörs Sie sich auch erfreuen, werden dergleichen Töne schon wahrgenommen haben, die nach meiner Dar-

stellung fortdauernd und immer vorhanden sein sollen. Es ist in der That immer ein besonderer Act der Aufmerksamkeit nothwendig, um sie zu hören, sonst bleiben sie verborgen. Alle unsere sinnlichen Wahrnehmungen sind nämlich nicht bloss Empfindungen der Nervenapparate, sondern es gehört noch eine eigenthümliche Thätigkeit der Seele dazu, um von der Empfindung des Nerven aus zu der Vorstellung desjenigen äusseren Objectes zu gelangen, welches die Empfindung erregt hat. Die Empfindungen unserer Sinnesnerven sind uns Zeichen für gewisse äussere Objecte, und wir lernen zum grossen Theil erst durch Einübung die richtigen Schlüsse von den Empfindungen auf die entsprechenden Objecte zu ziehen. Nun ist es ein allgemeines Gesetz aller unserer Sinneswahrnehmungen, dass wir nur so weit auf unsere Sinnesempfindungen achten, als sie uns dazu dienen können, die äusseren Objecte zu erkennen; wir sind in dieser Beziehung Alle, mehr als wir vermuthen, höchst einseitige und rücksichtslose Anhänger des praktischen Nutzens. Alle Empfindungen, welche nicht directen Bezug auf äussere Objecte haben, pflegen wir im gewöhnlichen Gebrauche der Sinne vollständig zu ignoriren, und erst bei der wissenschaftlichen Untersuchung der Sinnesthätigkeit werden wir darauf aufmerksam, oder auch bei Krankheiten, wo wir unsere Aufmerksamkeit mehr auf die Erscheinungen unseres Körpers richten. Wie oft bemerken Patienten erst dann, wenn sie von einer leichten Augenentzündung befallen sind, dass ihnen Körnchen und Fäserchen, sogenannte fliegende Mücken, im Auge herumschwimmen, und machen sich hypochondrische Gedanken darüber, weil sie für neu halten, was sie meistens während ihres ganzen Lebens schon vor den Augen gehabt haben.

Wer bemerkt so leicht, dass im Gesichtsfelde jedes gesunden Auges eine Stelle vorkommt, wo man gar nichts sieht, der sogenannte blinde Fleck? Wie viele Leute wissen davon, dass sie fortdauernd nur die Gegenstände, welche sie fixiren, einfach sehen, alles was dahinter oder davor liegt, doppelt? Ich könnte Ihnen eine lange Reihe solcher Beispiele aufführen, welche erst durch die wissenschaftliche Untersuchung der Sinnesthätigkeiten zu Tage gekommen sind, und welche hartnäckig verborgen bleiben, bis man durch geeignete Mittel die Aufmerksamkeit auf sie lenkt, was oft ein recht schwieriges Geschäft ist.

In dieselbe Classe von Erscheinungen gehören die Obertöne. Es ist nicht genug, dass der Hörnerv den Ton empfindet; die

Seele muss auch noch darauf reflectiren; ich unterschied deshalb vorher das leibliche und das geistige Ohr.

Wir hören den Ton einer Saite immer begleitet von einer gewissen Combination von Obertönen. Eine andere Combination solcher Töne gehört zum Ton der Flöte, eine andere zu dem der menschlichen Stimme, oder zum Heulen des Hundes. Ob eine Violine, eine Flöte, ob ein Mensch oder ein Hund in der Nähe sei, interessirt uns zu wissen, und unser Ohr übt sich, die Eigenthümlichkeiten dieser Töne genau zu unterscheiden. Durch welche Mittel wir sie aber unterscheiden, ist uns gleichgültig.

Ob die Stimme des Hundes die höhere Octave oder die Duodecime des Grundtones enthält, ist ohne praktisches Interesse, und bildet kein Object für unsere Aufmerksamkeit. So gehen uns die Obertöne in die nicht näher zu bezeichnenden Eigenthümlichkeiten des Tones auf, die wir Klangfarbe nennen. Da die Existenz der Obertöne von der Wellenform abhängt, sehen Sie auch, warum ich vorher sagen konnte, dass die Klangfarbe der Wellenform entspricht.

Am leichtesten hört man die Obertöne, wenn sie unharmonisch zum Grundtone sind, wie bei den Glocken. Die Kunst des Glockengusses besteht namentlich darin, der Glocke eine Form zu geben, bei welcher die tieferen und stärkeren Nebentöne harmonisch zum Grundtone werden, sonst klingt der Ton unmusikalisch, kesselähnlich; die höheren Töne bleiben jedoch immer unharmonisch, und der Glockenton ist deshalb zur künstlerischen Musik nicht geeignet.

Dagegen ergiebt sich aus dem Gesagten, dass man die Obertöne desto schwerer hören wird, je häufiger man die zusammengesetzten Klänge gehört hat, in denen sie vorkommen. Das ist namentlich bei den Klängen der menschlichen Stimme der Fall, nach deren Obertönen viele und geschickte Beobachter vergebens gesucht haben.

In überraschender Weise wurde die eben vorgetragene Ansicht der Sache dadurch bestätigt, dass sich aus ihr eine Methode herleiten liess, durch welche es mir gelang, nicht nur die Obertöne der menschlichen Stimme zu hören, sondern auch sie für andere Personen hörbar zu machen.

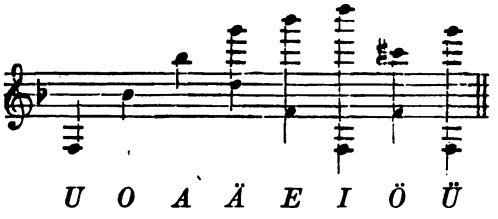
Es kommt dabei nicht, wie man bisher glaubte, auf ein besonders ausgebildetes musikalisches Gehör, sondern nur darauf an, dass man die Aufmerksamkeit durch geeignete Mittel passend lenke.

Lassen Sie neben dem Claviere durch eine kräftige Männerstimme den Vocal *O* auf das ungestrichene *es* singen. Geben Sie ganz leise auf dem Claviere das *b* der nächst höheren eingestrichenen Octave an, und hören Sie genau auf den verklingenden Clavierton. Ist der angegebene Ton als Oberton in dem Stimmklang enthalten, so schwindet der Clavierton scheinbar nicht, sondern das Ohr hört, als seine Fortsetzung, den entsprechenden Oberton der Stimme. So findet man bei passenden Abänderungen dieses Versuches, dass die verschiedenen Vocale sich durch ihre Obertöne von einander unterscheiden.

Noch leichter ist eine solche Untersuchung, wenn man das Ohr mit Kugeln aus Glas oder Metall bewaffnet, wie sie Fig. 12 zeigt. Deren weitere Oeffnung *a* wird gegen die Tonquelle hingekehrt, während das engere trichterförmige Ende *b* in den Gehörgang eingesetzt wird. Die ziemlich abgeschlossene Luftmasse der Kugel hat ihren bestimmten Eigenton, der z. B. zum Vorschein kommt, wenn man sie am Rande der Oeffnung *a* anbläst. Wird nun der Eigenton der Kugel aussen angegeben, sei es als Grundton, sei es als Oberton irgend eines Klanges, so kommt die Luftmasse der Kugel in starkes Mitschwingen, und das mit dieser Luftmasse verbundene Ohr hört den betreffenden Ton in verstärkter Intensität. So ist es sehr leicht zu entscheiden, ob der Eigenton der Kugel in einem Klange oder einer Klangmasse vorkommt oder nicht.

Fig. 12.

Untersucht man die Vocale der menschlichen Stimme, so erkennt man mit Hülfe der Resonatoren leicht, dass die Obertöne jedes einzelnen Vocales in gewissen Gegenden der Scala besonders stark sind; so zum Beispiel die des *O* in der Gegend des eingestrichenen *b'*, die des *A* in der des zweigestrichenen *b''*, eine Octave höher. Eine Uebersicht dieser Gegenden der Scala, wo die Obertöne der einzelnen Vocale besonders stark zum Vorschein kommen, folgt hier in Notenschrift:



Folgender leicht anzustellender Versuch zeigt, wie gleichgültig es ist, ob eine oder mehrere Tonquellen die verschiedenen einfachen Töne hervorbringen, welche in einem Vocal der menschlichen Stimme vereinigt sind: Ein Clavier giebt bei gehobenem Dämpfer nicht bloss die Klänge durch Mitklingen wieder, die dieselbe Höhe haben, wie diejenigen, denen es nachklingt, sondern wenn Sie den Vocal *A* auf irgend eine Note des Claviers hineinsingen, so tönt auch ganz deutlich *A* wieder heraus, und singen Sie *E*, *O* oder *U* hinein, so klingen die Saiten *E*, *O* und *U* nach. Es kommt nur darauf an, dass Sie den Ton des Claviers, den Sie singen wollen, recht genau treffen. Der Vocalklang kommt aber nur dadurch zu Stande, dass die höheren Saiten, welche den harmonischen Obertönen des angegebenen Tones entsprechen, mitklingen. Lassen Sie den Dämpfer auf den Saiten ruhen, so gelingt der Versuch nicht.

So werden bei diesem Versuche durch den Ton einer Tonquelle, nämlich der Stimme, die Töne vieler Saiten erregt, und diese bringen dadurch eine Luftbewegung hervor, die in Form, also auch in Klangfarbe, der des einfachen Tones gleich ist.

Wir haben bisher nur von Zusammensetzungen von Wellen verschiedener Länge gesprochen. Jetzt wollen wir Wellen gleicher Länge, die in gleicher Richtung fortgehen, zusammensetzen. Das Resultat wird hier ganz verschieden sein, je nachdem die Berge der einen mit den Bergen der anderen zusammentreffen, wobei Berge von doppelter Höhe und Thäler von doppelter Tiefe entstehen, oder Berge der einen mit Thälern der anderen. Wenn beide Wellenzüge gleiche Höhe haben, so dass die Berge gerade hinreichen, die Thäler auszufüllen, so werden im letzten Falle Berge und Thäler gleichzeitig verschwinden, die beiden Wellen werden sich gegenseitig zerstören. Ebenso wie zwei Wasserwellenzüge, können sich auch zwei Schallwellenzüge gegenseitig zerstören, wenn die verdichteten Theile des einen mit den verdünnten des anderen zusammenfallen. Diese merkwürdige Er-

scheinung, wobei Schall den Schall gleicher Art zerstört, nennt man die Interferenz des Schalles.

Mit der früher beschriebenen Sirene lässt sie sich leicht nachweisen; wenn man den oberen Kasten derselben so stellt, dass aus beiden Windkästen die Luftstösse der Reihen von 12 Löchern gleichzeitig hervorbrechen, so verstärken sie gegenseitig ihre Wirkung, und man bekommt den Grundton des betreffenden Sirenentones sehr voll und stark; stellt man aber den oberen Windkasten so, dass die Luftstösse von oben erfolgen, wenn die untere Löcherreihe gedeckt ist, und umgekehrt, so verschwindet der Grundton, und man hört nur noch schwach den ersten Oberton, der eine Octave höher ist, und welcher unter diesen Umständen durch Interferenz nicht zerstört wird.

Die Interferenz führt uns zu den sogenannten Schwebungen der Töne. Wenn zwei gleichzeitig gehörte Töne genau gleiche Schwingungsdauer haben, und im Anfang ihre Wellenberge zusammenfallen, so werden sie auch fortdauernd zusammenfallen; wenn sie jedoch anfangs nicht zusammenfielen, so werden sie auch bei längerer Dauer nicht zusammenfallen.

Die beiden Töne werden sich entweder fortdauernd verstärken, oder fortdauernd schwächen. Wenn die beiden Töne aber nur annähernd gleiche Schwingungsdauer haben, und ihre Wellenberge anfangs zusammenfallen, so dass sie sich verstärken, so werden allmählich die Berge des einen denen des anderen voreilen. Es werden Zeiten kommen, wo die Berge des einen in die Thäler des anderen fallen; andere Zeiten, wo die voreilenden Wellenberge des ersten Tones Berge des anderen erreichen, und dies giebt sich kund durch abwechselnde Steigerungen und Schwächungen des Tones, die wir Schwebungen oder Stösse der Töne nennen. Man kann dergleichen Schwebungen oft hören, wenn zwei nicht ganz genau im Einklange befindliche Tonwerkzeuge dieselbe Note angeben. Ein verstimmtes Clavier, bei dem die zwei oder drei Saiten, die von derselben Taste angeschlagen werden, nicht mehr genau zusammenstimmen, lässt sie deutlich hören. Recht langsam und regelmässig erfolgende Schwebungen klingen in getragener Musik, namentlich in mehrstimmigem Kirchengesang, oft sehr schön, indem sie bald majestätischen Wogen gleich durch die hohen Gewölbe hinziehen, bald durch ein leichtes Beben dem Tone den Charakter der Inbrunst und Rührung verleihen. Je grösser die Differenz der Schwingungsdauer, desto schneller werden die Schwebungen. So lange nicht mehr als

vier bis sechs Schwebungen in der Secunde erfolgen, fasst das Ohr die abwechselnden Verstärkungen des Tones leicht einzeln auf. Bei noch kürzeren Schwebungen erscheint der Ton knarrend, oder, wenn er hoch ist, schrill. Ein knarrender Ton ist ein durch schnelle Unterbrechungen getheilter Ton, ähnlich dem Buchstaben *R*, der dadurch entsteht, dass wir den Ton der Stimme durch Zitttern des Gaumens oder der Zunge unterbrechen.

Werden die Schwebungen immer schneller, so wird es dem Ohre zunächst schwerer, sie einzeln zu hören, während noch eine Rauhigkeit des Tones bestehen bleibt. Zuletzt werden sie ganz unwahrnehmbar, und verfliessen, wie die einzelnen Luftstösse, die einen Ton zusammensetzen, in eine continuirliche Tonempfindung [1]).

Während also jeder einzelne musikalische Ton für sich im Hörnerven eine gleichmässig anhaltende Empfindung hervorbringt, stören sich zwei ungleich hohe Töne gegenseitig und zerschneiden sich in einzelne Tonstösse, die im Hörnerven eine discontinuirliche Erregung hervorbringen. Sie sind für das Ohr ebenso unangenehm, wie ähnliche intermittirende und schnell wiederholte Reizungen für andere empfindliche Organe, z. B. flackerndes, glitzerndes Licht für das Auge, oder das Kratzen einer Bürste für die Haut. Diese Rauhigkeit des Tones ist der wesentliche Charakter der Dissonnanz. Am unangenehmsten ist sie dem Ohre, wenn die beiden Töne ungefähr um einen halben Ton aus einander stehen, wobei die Töne der mittleren Gegend der Scala etwa 20 bis 40 Stösse in der Secunde geben. Bei dem Unterschiede eines ganzen Tones ist die Rauhigkeit geringer, bei einer Terz pflegt sie, wenigstens in den höheren Lagen der Tonleiter, zu verschwinden. Die Terz kann daher als Consonanz erscheinen. Auch wenn die Grundtöne so weit von einander entfernt sind, dass sie keine hörbaren Schwebungen mehr hervorbringen, so können noch Schwebungen der Obertöne eintreten und den Klang rauh machen. Wenn z. B. zwei Töne eine Quinte bilden, d. h. der eine zwei, der andere drei Schwingungen in gleicher Zeit vollendet, so haben beide unter ihren Obertönen einen Ton, der in derselben Zeit sechs Schwingungen macht. Ist nun das Verhältniss der Grundtöne genau 2 zu 3, so sind auch die beiden Obertöne

---

[1]) Der Uebergang der Schwebungen in eine rauhe Dissonanz wurde mittelst zweier Orgelpfeifen ausgeführt, von denen die eine allmählich mehr und mehr verstimmt wurde.

von sechs Schwingungen genau gleich, und stören die Harmonie der Grundtöne nicht; ist jenes Verhältniss nur angenähert wie 2 zu 3, so sind die beiden Obertöne nicht genau gleich, sondern es entstehen Schwebungen und der Ton wird rauh.

Die Gelegenheit, solche Schwebungen unreiner Quinten, die übrigens nur langsam dahin wogen, zu hören, ist sehr häufig, weil auf dem Clavier und der Orgel bei unserem jetzigen Stimmungssystem alle Quinten unrein sind. Bei richtig gelenkter Aufmerksamkeit, oder besser noch mit Hülfe eines passend gestimmten Resonators erkennt man leicht, dass der bezeichnete Oberton wirklich in Schwebung begriffen ist. Die Schwebungen sind natürlich schwächer als die der Grundtöne, weil die schwebenden Obertöne schwächer sind. Wenn wir auch meistens nicht zum klaren Bewusstsein dieser schwebenden Obertöne kommen, so empfindet doch das Ohr ihre Wirkung als eine Ungleichförmigkeit oder Rauhigkeit des Gesammttones, während eine vollkommen reine Quinte, für deren Töne das Verhältniss der Schwingungszahlen genau wie 2 zu 3 ist, vollkommen gleichmässig fortklingt, ohne irgend welche Veränderungen, Verstärkungen, Schwächungen oder Rauhigkeiten des Tones. Es ist schon vorher erwähnt worden, dass der vollkommenste Zusammenklang der Quinte genau dem genannten Verhältnisse der Schwingungszahlen entspricht, und die Sirene zeigt dies in sehr einfacher Weise; hier haben wir auch den Grund der Rauhigkeit kennen gelernt, welche durch jede Abweichung von diesem Verhältnisse hervorgebracht wird.

Ebenso klingen uns Töne, deren Schwingungszahlen sich genau wie 3 zu 4, oder wie 4 zu 5 zu einander verhalten — welche also eine reine Quarte oder reine Terz bilden — besser als solche, die von diesem Verhältnisse etwas abweichen. Es gehören also zu einem gegebenen Tone als Grundton ganz genau bestimmte andere Tonstufen, die, ohne eine Ungleichmässigkeit oder Rauhigkeit des Tones hervorzubringen, mit ihm zusammenklingen können, oder die wenigstens durch ihren Zusammenklang mit dem ersten Tone eine geringere Rauhigkeit hervorbringen als alle etwas grösseren oder etwas kleineren Tonintervalle.

Dadurch ist es bedingt, dass die neuere Musik, welche sich wesentlich auf die Harmonie consonirender Töne aufbaut, gezwungen ist, in ihrer Scala nur gewisse, genau bestimmte, Tonstufen zu gebrauchen. Aber auch für die ältere einstimmige Musik, welche der Harmonie entbehrt, lässt sich nachweisen, dass Fortschritte in gewissen bestimmten Intervallen bevorzugt werden

mussten, wegen der in allen musikalischen Klängen enthaltenen Obertöne, und dass durch einen gemeinsam in zwei Tönen einer Melodie enthaltenen Oberton eine gewisse, dem Ohre fühlbare, Verwandtschaft dieser Töne entsteht, welche ein künstlerisches Verbindungsmittel derselben bildet. Doch ist die Zeit zu knapp, dies hier weiter auszuführen; wir würden dabei genöthigt sein, weit in die Geschichte der Musik zurückzugehen.

Erwähnt sei nur, dass noch eine andere Art von Beitönen besteht, die Combinationstöne, welche nur gehört werden, wenn zwei oder mehrere starke Töne verschiedener Höhe zusammenklingen, und dass auch diese unter Umständen Schwebungen und Rauhigkeiten des Zusammenklanges hervorbringen können. Wenn man auf der Sirene mit vollkommen rein gestimmten Orgelpfeifen, oder auf der Violine die Terz $c'\,e'$ (Schwingungsverhältniss 4 : 5) angiebt, so hört man gleichzeitig schwach das C als Combinationston erklingen, welches zwei Octaven tiefer ist, als c'. Dasselbe C erklingt auch, wenn man gleichzeitig die Töne e' und g' (Schwingungsverhältniss 5 : 6) angiebt.

Giebt man nun die drei Töne c', e' und g' gleichzeitig an, und ist ihr Verhältniss genau wie 4 : 5 : 6, so hat man zweimal den Combinationston C in vollkommenem Einklange und ohne Schwebungen. Wenn aber die drei Noten nicht ganz genau so gestimmt sind, wie es jenes Zahlenverhältniss fordert, so sind die beiden Combinationstöne C etwas verschieden und geben leise Schwebungen.

Die Combinationstöne sind in der Regel viel schwächer als die Obertöne, ihre Schwebungen deshalb viel weniger merkbar und rauh, als die der Obertöne, so dass sie nur bei solchen Klangfarben in Betracht kommen, welche fast gar keine Obertöne haben, wie bei den gedackten Pfeifen der Orgel und bei den Flöten. Aber es ist unverkennbar, dass eine harmonische Musik, die mit solchen Instrumenten ausgeführt wird, kaum einen Unterschied zwischen Harmonie und Disharmonie bietet, und dass sie eben deshalb unserem Ohre charakterlos und weichlich klingt. Alle guten musikalischen Klangfarben sind verhältnissmässig reich an Obertönen, namentlich an den fünf ersten Obertönen, welche Octaven, Quinten und Terzen des Grundtones bilden. In den Mixturen der Orgel setzt man der Hauptpfeife absichtlich Nebenpfeifen hinzu, welche der Reihe der harmonischen Obertöne in der den Hauptton gebenden Pfeife entsprechen, um eine durchdringendere und kräftigere Klangfarbe zur Begleitung

des Gemeindegesanges zu erhalten. Auch hierbei ist unverkennbar, welche wichtige Rolle die Obertöne bei der künstlerischen Wirkung der Musik spielen.

So sind wir also zum Kern der Harmonielehre vorgedrungen. Harmonie und Disharmonie scheiden sich dadurch, dass in der ersteren die Töne neben einander so gleichmässig abfliessen, wie jeder einzelne Ton für sich, während in der Disharmonie Unverträglichkeit stattfindet, und die Töne sich gegenseitig in einzelne Stösse zertheilen. Man wird einsehen, dass zu diesem Resultate alles früher Besprochene zusammenwirkt. Zunächst beruht das Phänomen der Stösse oder Schwebungen auf Interferenz der Wellenbewegung; es konnte deshalb dem Schalle nur darum zukommen, weil er eine Wellenbewegung ist. Andererseits war für die Feststellung der consonirenden Intervalle die Fähigkeit des Ohres, Obertöne empfinden und zusammengesetzte Wellensysteme nach dem Fourier'schen Satze in einfache auflösen zu können, nothwendig. Dass bei den musikalisch brauchbaren Tönen die Obertöne zum Grundtone im Verhältnisse der ganzen Zahlen zu Eins stehen, und dass die Schwingungsverhältnisse der harmonischen Intervalle deshalb den kleinsten ganzen Zahlen entsprechen, beruht ganz in dem Fourier'schen Satze. Wie wesentlich die genannte physiologische Eigenthümlichkeit des Ohres ist, wird namentlich klar, wenn wir es mit dem Auge vergleichen. Auch das Licht ist eine Wellenbewegung eines besonderen, durch den Weltraum verbreiteten Mittels, des Lichtäthers; auch das Licht zeigt die Erscheinungen der Interferenz. Auch das Licht hat Wellen von verschiedener Schwingungsdauer, die das Auge als verschiedene Farben empfindet, z. B. die mit grösster Schwingungsdauer als Roth; dann folgen die Farben Orange, Gelb, Grün, Blau und Violett, dessen Schwingungsdauer etwa halb so gross ist, als die des äussersten Roth. Aber das Auge kann zusammengesetzte Lichtwellensysteme, d. h. zusammengesetzte Farben nicht von einander scheiden; es empfindet sie in einer nicht aufzulösenden, einfachen Empfindung, der einer Mischfarbe. Es ist ihm deshalb gleichgültig, ob in der Mischfarbe Grundfarben von einfachen oder nicht einfachen Schwingungsverhältnissen vereinigt sind. Es hat keine Harmonie in dem Sinne wie das Ohr; es hat keine Musik.

Die Aesthetik sucht das Wesen des künstlerisch Schönen in seiner unbewussten Vernunftmässigkeit. Ich habe Ihnen heute das verborgene Gesetz, das den Wohlklang der harmonischen Ton-

verbindungen bedingt, aufzudecken gesucht. Es ist recht eigentlich ein unbewusstes, so weit es in den Obertönen beruht, die zwar vom Nerven empfunden werden, gewöhnlich jedoch nicht in das Gebiet des bewussten Vorstellens eintreten; deren Verträglichkeit oder Unverträglichkeit jedoch gefühlt wird, ohne dass der Hörer wüsste, wo der Grund seines Gefühles liegt.

Die Erscheinungen des rein sinnlichen Wohlklanges sind freilich erst der niedrigste Grad des musikalisch Schönen. Für die höhere, geistige Schönheit der Musik sind Harmonie und Disharmonie nur Mittel, aber wesentliche und mächtige Mittel. In der Disharmonie fühlt sich der Hörnerv von den Stössen unverträglicher Töne gequält; er sehnt sich nach dem reinen Abfluss der Töne in der Harmonie, und drängt zu ihr hin, um in ihr besänftigt zu verweilen. So treiben und beruhigen beide abwechselnd den Fluss der Töne, in dessen unkörperlicher Bewegung das Gemüth ein Bild der Strömung seiner Vorstellungen und Stimmungen schaut. Aehnlich wie beim Anblick der wogenden See wird es hier durch die rhythmisch sich wiederholende und doch immer wechselnde Weise der Bewegung gefesselt und mit ihr fortgetragen. Aber während dort die mechanischen Naturkräfte nur blind walten, und darum in der Stimmung des Anschauenden schliesslich der Eindruck des Wüsten überwiegt, so folgt in dem musikalischen Kunstwerk die Bewegung den Strömungen der erregten Seele des Künstlers. Bald sanft dahin fliessend, bald anmuthig hüpfend, bald heftig aufgeregt, von den Naturlauten der Leidenschaft durchzuckt oder gewaltig arbeitend, überträgt der Fluss der Töne ungeahnte Stimmungen, die der Künstler seiner eigenen Seele abgelauscht hat, in ursprünglicher Lebendigkeit in die Seele des Hörers, um ihn endlich in den Frieden ewiger Schönheit emporzutragen, zu dessen Verkündern unter den Menschen die Gottheit nur wenige ihrer erwählten Lieblinge geweiht hat.

Hier aber sind die Grenzen der Naturforschung und gebieten mir Halt.

Ueber das Verhältniss der Naturwissenschaften zur Gesammtheit der Wissenschaft

Akademische Festrede gehalten zu Heidelberg beim Antritt des Prorectorats 1862

Hochgeehrte Versammlung!

nsere Universität erneuert in der jährlichen Wiederkehr des en Tages die dankbare Erinnerung an einen erleuchteten n dieses Landes, Karl Friedrich, der während einer Zeit, e ganze alte Ordnung Europas umzustürzen schien, eifrig n edelsten Sinne bemüht war, das Wohl und die geistige kelung seines Volkes zu fördern, und der es richtig zu ıen wusste, dass die Erneuerung und Wiederbelebung dieser rsität eines der Hauptmittel zur Erreichung seiner wohlden Absichten sein würde. Indem ich an einem solchen von diesem Platze aus als Stellvertreter unserer gesammten rsität zu der gesammten Universität zu sprechen habe, es sich wohl, einen Blick auf den Zusammenhang der Wissenen und ihres Studiums im Ganzen zu werfen, so weit dies em beschränkten Standpunkte aus möglich ist, den der ne einnimmt.

Wohl kann es in jetziger Zeit so scheinen, als ob die gemein- Beziehungen aller Wissenschaften zu einander, um deren ı wir sie unter dem Namen einer Universitas litterarum einigen pflegen, lockerer als je geworden seien. Wir sehen elehrten unserer Zeit vertieft in ein Detailstudium von so esslicher Ausdehnung, dass auch der grösste Polyhistor mehr daran denken kann, mehr als ein kleines Theilgebiet utigen Wissenschaft in seinem Kopfe zu beherbergen. Den forscher der drei letztvergangenen Jahrhunderte beschäftdas Studium des Griechischen und Lateinischen schon ged; nur für unmittelbar praktische Zwecke lernte man viel- noch einige europäische Sprachen. Jetzt hat sich die leichende Sprachforschung keine geringere Aufgabe lt, als die, alle Sprachen aller menschlichen Stämme

kennen zu lernen, um an ihnen die Gesetze der Sprachbildung selbst zu ermitteln, und mit dem riesigsten Fleisse hat sie sich an ihre Arbeit gemacht. Selbst innerhalb der klassischen Philologie beschränkt man sich nicht mehr darauf, diejenigen Schriften zu studiren, welche durch ihre künstlerische Vollendung, durch die Schärfe ihrer Gedanken oder die Wichtigkeit ihres Inhaltes die Vorbilder der Poesie und Prosa für alle Zeit geworden sind. Man weiss, dass jedes verlorene Bruchstück eines alten Schriftstellers, jede Notiz eines pedantischen Grammatikers oder eines Byzantinischen Hofpoeten, jeder zerbrochene Grabstein eines römischen Beamten, der sich in einem unbekannten Winkel Ungarns, Spaniens oder Afrikas vorfindet, eine Nachricht oder ein Beweisstück enthalten kann, welches an seiner Stelle wichtig sein möchte; und so ist denn wieder eine andere Zahl von Gelehrten mit der Ausführung des riesigen Unternehmens beschäftigt, alle Reste des klassischen Alterthums, welcher Art sie sein mögen, zu sammeln und zu katalogisiren, damit sie zum Gebrauch bereit seien. Nehmen Sie dazu das historische Quellenstudium, die Durchmusterung der in den Archiven der Staaten und der Städte aufgehäuften Pergamente und Papiere, das Zusammenlesen der in Memoiren, Briefsammlungen und Biographien zerstreuten Notizen, und die Entzifferung der in den Hieroglyphen und Keilschriften niedergelegten Documente; nehmen Sie dazu die noch immer an Umfang schnell wachsenden systematischen Uebersichten der Mineralien, der Pflanzen und Thiere, der lebenden wie der vorsündfluthlichen, so entfaltet sich vor unserem Blicke eine Masse gelehrten Wissens, welche uns schwindeln macht. In allen diesen Wissenschaften nimmt der Kreis der Forschung noch fortdauernd in demselben Maasse zu, als die Hülfsmittel der Beobachtung sich verbessern, ohne dass ein Ende abzusehen ist. Der Zoologe der vergangenen Jahrhunderte war meist zufrieden, wenn er die Zähne, die Behaarung, die Bildung der Füsse und andere äusserliche Kennzeichen eines Thieres beschrieben hatte. Der Anatom dagegen beschrieb die Anatomie des Menschen allein, so weit er sie mit dem Messer, der Säge und dem Meissel, oder etwa mit Hülfe von Injectionen der Gefässe ermitteln konnte. Das Studium der menschlichen Anatomie galt schon als ein entsetzlich weitläufiges und schwer zu erlernendes Gebiet. Heut zu Tage begnügt man sich nicht mehr mit der sogenannten gröberen menschlichen Anatomie, welche fast, wenn auch mit Unrecht, als ein er-

schöpftes Gebiet angesehen wird, sondern die vergleichende Anatomie, d. h. die Anatomie aller Thiere, und die mikroskopische Anatomie, also Wissenschaften von einem unendlich breiteren Inhalte, sind hinzugekommen und absorbiren das Interesse der Beobachter.

Die vier Elemente des Alterthums und der mittelalterlichen Alchymie sind in unserer jetzigen Chemie auf 64[1]) gewachsen; die drei letzten von ihnen sind nach einer an unserer Universität entdeckten Methode aufgefunden worden, welche noch viele ähnliche Funde in Aussicht stellt. Aber nicht bloss die Zahl der Elemente ist ausserordentlich gewachsen, auch die Methoden, complicirte Verbindungen derselben herzustellen, haben solche Fortschritte gemacht, dass die sogenannte organische Chemie, welche nur die Verbindungen des Kohlenstoffs mit Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und mit einigen wenigen anderen Elementen umfasst, schon wieder eine Wissenschaft für sich geworden ist.

„So viel Stern' am Himmel stehen" war in alter Zeit der natürliche Ausdruck für eine Zahl, welche alle Grenzen unseres Fassungsvermögens übersteigt; Plinius findet es ein an Vermessenheit streifendes Unternehmen des Hipparch (rem etiam Deo improbam), dass er die Sterne zu zählen und ihre Oerter einzeln abzumessen unternommen habe. Und doch liefern die bis zum siebzehnten Jahrhundert ohne Hülfe von Fernrohren angefertigten Sternverzeichnisse nur 1000 bis 1500 Sterne erster bis fünfter Grösse. Gegenwärtig ist man an mehreren Sternwarten beschäftigt, diese Kataloge bis zur zehnten Grösse fortzusetzen, was eine Gesammtzahl von etwa 200000 Fixsternen über den ganzen Himmel ergeben wird, welche alle aufgezeichnet, und deren Oerter messend bestimmt werden sollen. Die nächste Folge dieser Untersuchungen ist dann auch die Möglichkeit gewesen, eine grosse Menge neuer Planeten zu entdecken, von denen vor 1781 nur sechs bekannt waren, im gegenwärtigen Augenblicke dagegen schon 75[2]).

Wenn wir diese riesige Thätigkeit in allen Zweigen überblicken, so können uns die verwegenen Anschläge der Menschen wohl in ein erschrecktes Staunen versetzen, wie den Chor in der Antigone, wo er ausruft:

---

[1]) Mit dem seitdem entdeckten Indium jetzt 65, 1883.

[2]) Am 11. Mai 1883 ist schon der 233ste der kleinen Planeten entdeckt worden. Die Zahl derselben wächst alljährlich.

Πολλὰ τὰ δεινά, κοὐδὲν ἀνθρώπου δεινότερον πέλει.
„Vieles ist erstaunlich, aber nichts erstaunlicher als der Mensch."

Wer soll noch das Ganze übersehen, wer die Fäden des Zusammenhanges in der Hand behalten und sich zurecht finden? Die natürliche Folge tritt zunächst darin hervor, dass jeder einzelne Forscher ein immer kleiner werdendes Gebiet zu seiner eigenen Arbeitsstätte zu wählen gezwungen ist und nur unvollständige Kenntnisse von den Nachbargebieten sich bewahren kann. Wir sind jetzt geneigt zu lachen, wenn wir hören, dass im 17. Jahrhundert Keppler als Professor der Mathematik und der Moral nach Gratz berufen wurde, oder dass am Anfange des 18. Jahrhunderts Boerhave zu Leyden gleichzeitig die Professuren der Botanik, Chemie und klinischen Medicin inne hatte, worin natürlich damals auch noch die Pharmacie eingeschlossen war. Jetzt brauchen wir mindestens vier, an vollständig besetzten Universitäten sogar sieben bis acht Lehrer, um alle diese Fächer zu vertreten. Aehnlich ist es in den anderen Disciplinen.

Ich habe um so mehr Veranlassung, die Frage nach dem Zusammenhange der verschiedenen Wissenschaften hier zu erörtern, als ich selbst dem Kreise der Naturwissenschaften angehöre, und man diese in neuerer Zeit gerade am meisten beschuldigt hat, einen isolirten Weg eingeschlagen zu haben und den übrigen Wissenschaften, die durch gemeinsame philologische und historische Studien unter einander verbunden sind, fremd geworden zu sein. Ein solcher Gegensatz ist in der That eine Zeit lang fühlbar gewesen und scheint mir namentlich unter dem Einflusse der Hegel'schen Philosophie sich entwickelt zu haben, oder durch diese Philosophie mindestens klarer als vorher an das Licht gezogen worden zu sein. Denn am Ende des vorigen Jahrhunderts unter dem Einflusse der Kant'schen Lehre war eine solche Trennung noch nicht ausgesprochen; diese Philosophie stand vielmehr mit den Naturwissenschaften auf genau gleichem Boden, wie am besten Kant's eigene naturwissenschaftliche Arbeiten zeigen, hauptsächlich seine auf Newton's Gravitationsgesetz gestützte, kosmogonische Hypothese, welche später unter dem Namen von Laplace ausgebreitete Anerkennung erhalten hat. Kant's kritische Philosophie ging nur darauf aus, die Quellen und die Berechtigung unseres Wissens zu prüfen und den einzelnen übrigen Wissenschaften gegenüber den Maassstab für ihre geistige Arbeit aufzustellen. Ein Satz, der a priori

durch reines Denken gefunden war, konnte nach seiner Lehre immer nur eine Regel für die Methode des Denkens sein, aber keinen positiven und realen Inhalt haben. Die Identitätsphilosophie war kühner. Sie ging von der Hypothese aus, dass auch die wirkliche Welt, die Natur und das Menschenleben das Resultat des Denkens eines schöpferischen Geistes sei, welcher Geist seinem Wesen nach als dem menschlichen gleichartig betrachtet wurde. Sonach schien der menschliche Geist es unternehmen zu können, auch ohne durch äussere Erfahrungen dabei geleitet zu sein, die Gedanken des Schöpfers nachzudenken und durch eigene innere Thätigkeit dieselben wieder zu finden. In diesem Sinne ging nun die Identitätsphilosophie darauf aus, die wesentlichen Resultate der übrigen Wissenschaften a priori zu construiren. Es mochte dieses Geschäft mehr oder weniger gut gelingen in Bezug auf Religion, Recht, Staat, Sprache, Kunst, Geschichte, kurz in allen den Wissenschaften, deren Gegenstand sich wesentlich aus psychologischer Grundlage entwickelt, und die daher unter dem Namen der Geisteswissenschaften passend zusammengefasst werden. Staat, Kirche, Kunst, Sprache sind dazu da, um gewisse, geistige Bedürfnisse der Menschen zu befriedigen. Wenn auch äussere Hindernisse, Naturkräfte, Zufall, Nebenbuhlerschaft anderer Menschen oft störend eingreifen, so werden schliesslich doch die beharrlich das gleiche Ziel verfolgenden Bestrebungen des menschlichen Geistes über die planlos waltenden Hindernisse das Uebergewicht erhalten und den Sieg erringen müssen. Unter diesen Umständen wäre es nicht gerade unmöglich, den allgemeinen Entwickelungsgang der Menschheit in Bezug auf die genannten Verhältnisse aus einem genauen Verständniss des menschlichen Geistes a priori vorzuzeichnen, namentlich wenn der Philosophirende schon ein breites empirisches Material vor sich hat, dem sich seine Abstractionen anschliessen können. Auch wurde Hegel in seinen Versuchen, diese Aufgabe zu lösen, wesentlich unterstützt durch die tiefen philosophischen Blicke in Geschichte und Wissenschaft, welche die Philosophen und Dichter der ihm unmittelbar vorausgehenden Zeit gethan hatten, und die er hauptsächlich nur zusammenzuordnen und zu verbinden brauchte, um ein durch viele überraschende Einsichten imponirendes System herzustellen. So gelang es ihm, bei der Mehrzahl der Gebildeten seiner Zeit einen enthusiastischen Beifall zu finden und überschwängliche Hoffnungen auf die Lösung der tiefsten Räthsel des Menschenlebens zu erregen; das letztere um so mehr, als der

Zusammenhang des Systems durch eine sonderbar abstracte Sprache verhüllt war, und vielleicht von wenigen seiner Verehrer wirklich verstanden und durchschaut worden ist.

Dass nun die Construction der wesentlichen Hauptresultate der Geisteswissenschaften mehr oder weniger gut gelang, war immer noch kein Beweis für die Richtigkeit der Identitätshypothese, von der Hegel's Philosophie ausging. Es wären im Gegentheil die Thatsachen der Natur das entscheidende Prüfungsmittel gewesen. Dass in den Geisteswissenschaften sich die Spuren der Wirksamkeit des menschlichen Geistes und seiner Entwickelungsstufen wiederfinden mussten, war selbstverständlich. Wenn aber die Natur das Resultat der Denkprozesse eines ähnlichen schöpferischen Geistes abspiegelte, so mussten sich die verhältnissmässig einfacheren Formen und Vorgänge in ihr um so leichter dem Systeme einordnen lassen. Aber hier gerade scheiterten die Anstrengungen der Identitätsphilosophie, wir dürfen wohl sagen, vollständig. Hegel's Naturphilosophie erschien den Naturforschern wenigstens absolut sinnlos. Von den vielen ausgezeichneten Naturforschern jener Zeit fand sich nicht ein Einziger, der sich mit den Hegel'schen Ideen hätte befreunden können. Da andererseits für Hegel es von besonderer Wichtigkeit war, gerade in diesem Felde sich die Anerkennung zu erkämpfen, die er anderwärts so reichlich gefunden hatte, so folgte eine ungewöhnlich leidenschaftliche und erbitterte Polemik von seiner Seite, welche sich namentlich gegen Newton, als den ersten und grössten Repräsentanten der wissenschaftlichen Naturforschung, richtete. Die Naturforscher wurden von den Philosophen der Bornirtheit geziehen; diese von jenen der Sinnlosigkeit. Die Naturforscher fingen nun an, ein gewisses Gewicht darauf zu legen, dass ihre Arbeiten ganz frei von allen philosophischen Einflüssen gehalten seien, und es kam bald dahin, dass viele von ihnen, darunter Männer von hervorragender Bedeutung, alle Philosophie als unnütz, ja sogar als schädliche Träumerei verdammten. Wir können nicht leugnen, dass hierbei mit den ungerechtfertigten Ansprüchen, welche die Identitätsphilosophie auf Unterordnung der übrigen Disciplinen erhob, auch die berechtigten Ansprüche der Philosophie, nämlich die Kritik der Erkenntnissquellen auszuüben und den Maasstab der geistigen Arbeit festzustellen, über Bord geworfen wurden.

In den Geisteswissenschaften war der Verlauf ein anderer, wenn er auch schliesslich zu ziemlich demselben Resultate führte.

In allen Zweigen der Wissenschaft, für Religion, Staat, Recht, Kunst, Sprache, standen begeisterte Anhänger der Hegel'schen Philosophie auf, welche die genannten Gebiete im Sinne des Systems zu reformiren suchten und auf speculativem Wege Früchte einzusammeln hofften, denen man sich bis dahin nur langsam durch langwierige Arbeit genähert hatte. So stellte sich eine Zeit lang ein schneidender und scharfer Gegensatz her zwischen den Naturwissenschaften auf der einen und den Geisteswissenschaften auf der anderen Seite, wobei den ersteren nicht selten der Charakter der Wissenschaft ganz abgesprochen wurde.

Freilich dauerte das gespannte Verhältniss in seiner ersten Bitterkeit nicht lange. Die Naturwissenschaften erwiesen vor Jedermanns Augen durch eine schnell auf einander folgende Reihe glänzender Entdeckungen und Anwendungen, dass ein gesunder Kern von ungewöhnlicher Fruchtbarkeit in ihnen wohne; man konnte ihnen Achtung und Anerkennung nicht versagen. Und auch auf den übrigen Gebieten des Wissens erhoben gewissenhafte Erforscher der Thatsachen bald ihren Widerspruch gegen den allzu kühnen Icarusflug der Speculation. Doch lässt sich auch ein wohlthätiger Einfluss jener philosophischen Systeme nicht verkennen; wir dürfen wohl nicht leugnen, dass seit dem Auftreten von Hegel und Schelling die Aufmerksamkeit der Forscher in den verschiedenen Zweigen der Geisteswissenschaften lebhafter und dauernder auf deren geistigen Inhalt und Zweck gerichtet gewesen ist, als es in den vorausgehenden Jahrhunderten vielleicht der Fall war. Die grosse Arbeit jener Philosophie ist deshalb nicht ganz vergebens gewesen.

In dem Maasse nun, als die empirische Erforschung der Thatsachen auch in den anderen Wissenschaften wieder in den Vordergrund trat, ist allerdings der Gegensatz zwischen ihnen und den Naturwissenschaften gemildert worden. Indessen, wenn derselbe durch Einfluss der genannten philosophischen Meinungen auch in übertriebener Schärfe zum Ausdruck gekommen war, lässt sich doch nicht verkennen, dass ein solcher Gegensatz wirklich in der Natur der Dinge begründet ist und sich geltend macht. Es liegt ein solcher zum Theil in der Art der geistigen Arbeit, zum Theil in dem Inhalt der genannten Fächer, wie es der Name der Natur- und Geisteswissenschaften schon andeutet. Der Physiker wird einige Schwierigkeit finden, dem Philologen oder Juristen die Einsicht in einen verwickelten Naturprozess zu eröffnen; er muss von ihnen dabei Abstractionen von dem sinnlichen Schein und eine

Gewandtheit in dem Gebrauche geometrischer und mechanischer Anschauungen verlangen, in denen ihm die anderen nicht so leicht nachfolgen können. Andererseits werden die Aesthetiker und Theologen den Naturforscher vielleicht zu ihnen trivial erscheinenden mechanischen und materialistischen Erklärungen geneigt finden, durch welche sie in der Wärme ihres Gefühls und ihrer Begeisterung gestört werden. Der Philolog und der Historiker, denen auch der Jurist und der Theologe, durch gemeinsame philologische und historische Studien eng verbunden, sich anschliessen, werden den Naturforscher auffallend gleichgültig gegen literarische Schätze finden, ja vielleicht sogar für die Geschichte seiner eigenen Wissenschaft gleichgültiger als recht ist. Endlich ist nicht zu leugnen, dass sich die Geisteswissenschaften ganz direct mit den theuersten Interessen des menschlichen Geistes und mit den durch ihn in die Welt eingeführten Ordnungen befassen; die Naturwissenschaften dagegen mit äusserem, gleichgültigem Stoff, den wir scheinbar nur des praktischen Nutzens wegen nicht umgehen können, der aber vielleicht kein unmittelbares Interesse für die Bildung des Geistes zu haben scheint.

Da nun die Sache so liegt, da sich die Wissenschaften in unendlich viele Aeste und Zweige gespalten haben, da lebhaft gefühlte Gegensätze zwischen ihnen entwickelt sind, da kein Einzelner mehr das Ganze oder auch nur einen erheblichen Theil des Ganzen umfassen kann, hat es noch einen Sinn, sie Alle an denselben Anstalten zusammenzuhalten? Ist die Vereinigung der vier Facultäten zu einer Universität nur ein Rest des Mittelalters? Manche äussere Vortheile sind schon dafür geltend gemacht worden, dass man die Mediziner in die Spitäler der grossen Städte, die Naturforscher in die polytechnischen Schulen schicke, und dass man für die Theologen und Juristen besondere Seminare und Schulen errichte. Wir wollen hoffen, dass die deutschen Universitäten noch lange vor einem solchen Schicksale bewahrt bleiben mögen! Dadurch würde in der That der Zusammenhang zwischen den verschiedenen Wissenschaften zerrissen werden, und wie wesentlich nothwendig ein solcher Zusammenhang nicht nur in formeller Beziehung für die Erhaltung der wissenschaftlichen Arbeitskraft, sondern auch in materieller Beziehung für die Förderung der Ergebnisse dieser Arbeit ist, wird eine kurze Betrachtung zeigen.

Zunächst in formaler Beziehung. Ich möchte sagen, die Vereinigung der verschiedenen Wissenschaften ist nöthig, um das

gesunde Gleichgewicht der geistigen Kräfte zu erhalten. Jede einzelne Wissenschaft nimmt gewisse Geistesfähigkeiten besonders in Anspruch und kräftigt sie dem entsprechend durch anhaltendere Uebung. Aber jede einseitige Ausbildung hat ihre Gefahr; sie macht unfähig für die weniger geübten Arten der Thätigkeit, beschränkt dadurch den Blick für den Zusammenhang des Ganzen; namentlich aber treibt sie auch leicht zur Selbstüberschätzung. Wer sich bewusst ist, eine gewisse Art geistiger Arbeit viel besser zu verrichten als andere Menschen, vergisst leicht, dass er Manches nicht leisten kann, was andere viel besser thun als er selbst; und Selbstüberschätzung — das vergesse Niemand, der sich den Wissenschaften widmet — ist der grösste und schlimmste Feind aller wissenschaftlichen Thätigkeit. Wie viele und grosse Talente haben nicht die dem Gelehrten vor allen Dingen nöthige und so schwer zu übende Selbstkritik vergessen, oder sind ganz in ihrer Thätigkeit erlahmt, weil sie trockene emsige Arbeit ihrer selbst unwürdig glaubten und nur bestrebt waren, geistreiche Ideencombinationen und weltumgestaltende Entdeckungen hervorzubringen! Wie Viele haben nicht in verbitterter und menschenfeindlicher Stimmung ein melancholisches Leben zu Ende geführt, weil ihnen die Anerkennung der Menschen fehlte, die natürlich durch Arbeit und Erfolge errungen werden muss, nicht aber dem bloss sich selbst bewundernden Genie gezollt zu werden pflegt. Und je isolirter der Einzelne ist, desto leichter droht ihm eine solche Gefahr; während umgekehrt nichts belebender ist, als zur Anstrengung aller Kräfte genöthigt zu sein, um sich die Anerkennung solcher Männer zu erringen, denen man selbst die höchste Anerkennung zu widmen sich gezwungen fühlt.

Vergleichen wir die Art der geistigen Thätigkeit in den verschiedenen Zweigen der Wissenschaft, so zeigen sich gewisse durchgehende Unterschiede nach den Wissenschaften selbst, wenn auch daneben nicht zu verkennen ist, dass jedes einzelne ausgezeichnete Talent seine besondere individuelle Geistesrichtung hat, wodurch es für seine besondere Art von Thätigkeit vorzugsweise befähigt wird. Man braucht nur die Arbeiten zweier gleichzeitiger Forscher auf ganz eng benachbarten Gebieten zu vergleichen, und man wird sich in der Regel überzeugen können, dass die geistige Individualität des Einzelnen sich um so bestimmter ausprägt, je hervorragender sie ist, und dass der Eine nur um so weniger im Stande sein würde, die Arbeiten des Anderen auszuführen. Bei der heutigen Gelegenheit kann es sich natürlich

nur darum handeln, die allgemeinsten Unterschiede, welche die geistige Arbeit in den verschiedenen Zweigen der Wissenschaft darbietet, zu charakterisiren.

Ich habe an den riesenhaften Umfang des Materials unserer Wissenschaften erinnert. Zunächst ist klar: je grösser dieser Umfang ist, eine desto bessere und genauere Organisation und Anordnung gehört dazu, damit man sich nicht im Labyrinth der Gelehrsamkeit hoffnungslos verlaufe. Je besser die Ordnung und Systematisirung ist, desto grösser kann auch die Anhäufung der Einzelheiten werden, ohne dass der Zusammenhang leidet. Unsere Zeit kann so viel mehr im Einzelnen leisten, weil unsere Vorgänger uns gelehrt haben, wie die Organisation des Wissens einzurichten ist.

Diese Organisation besteht in erster Stufe nur in einer äusserlichen mechanischen Ordnung, wie sie uns unsere Kataloge, Lexica, Register, Indices, Literaturübersichten, Jahresberichte, Gesetzsammlungen, naturhistorischen Systeme u. s. w. geben. Mit Hülfe dieser Dinge wird zunächst nur erreicht, dass dasjenige Wissen, welches nicht unmittelbar im Gedächtniss aufzubewahren ist, jeden Augenblick von demjenigen, der es braucht, gefunden werden kann. Mittelst eines guten Lexicon kann jetzt ein Gymnasiast im Verständniss der Klassiker manches leisten, was einem Erasmus trotz der Belesenheit eines langen Lebens schwer geworden sein muss. Die Werke dieser Art bilden gleichsam den Grundstock des wissenschaftlichen Vermögens der Menschheit, mit dessen Zinsen gewirthschaftet wird; man könnte sie vergleichen mit einem Kapital, was in Ländereien angelegt ist. Wie die Erde, aus der das Land besteht, sieht das Wissen, das in den Katalogen, Lexicis und Verzeichnissen steckt, wenig einladend und unschön aus; der Unkundige weiss die Arbeit und Kosten, welche in diesen Acker gesteckt sind, nicht zu erkennen und nicht zu schätzen; die Arbeit des Pflügers erscheint unendlich schwerfällig, mühsam und langweilig. Aber wenn auch die Arbeit des Lexicographen oder des naturhistorischen Systematikers einen ebenso mühsamen und hartnäckigen Fleiss in Anspruch nimmt, wie die des Pflügers, so muss man doch nicht glauben, dass sie untergeordneter Art oder so trocken und mechanisch sei, wie sie nachher aussieht, wenn man das Verzeichniss fertig gedruckt vor sich liegen hat. Es muss eben auch dabei jede einzelne Thatsache durch aufmerksame Beobachtung aufgefunden, nachher geprüft und verglichen, es muss das Wichtige von dem Unwichtigen gesondert werden, und dies

alles kann offenbar nur Jemand thun, der den Zweck, zu welchem gesammelt wird, den geistigen Inhalt der betreffenden Wissenschaft und ihre Methoden lebendig aufgefasst hat. Für einen solchen wird auch jeder einzelne Fall wieder in Zusammenhang mit dem Ganzen treten und sein eigenthümliches Interesse haben. Sonst würde ja auch diese Thätigkeit die schlimmste Sklavenarbeit sein, die sich ausdenken liesse. Dass auch auf diese Werke die fortschreitende Ideenentwickelung der Wissenschaft Einfluss hat, zeigt sich eben darin, dass man es nöthig findet, fortdauernd neue Lexica, neue naturhistorische Systeme, neue Gesetzsammlungen, neue Sternkataloge auszuarbeiten; darin spricht sich die fortschreitende Kunst der Methode und der Organisation des Wissens aus.

Unser Wissen soll aber nicht in der Form der Kataloge liegen bleiben; denn eben, dass wir es in dieser Form, schwarz auf weiss gedruckt, äusserlich mit uns herumtragen müssen, zeigt an, dass wir es geistig nicht bezwungen haben. Es ist nicht genug, die Thatsachen zu kennen; Wissenschaft entsteht erst, wenn sich ihr Gesetz und ihre Ursachen enthüllen. Die logische Verarbeitung des gegebenen Stoffes besteht zunächst darin, dass wir das Aehnliche zusammenschliessen und einen allgemeinen Begriff ausbilden, der es umfasst. Ein solcher Begriff, wie sein Name andeutet, begreift in sich eine Menge von Einzelheiten und vertritt sie in unserem Denken. Wir nennen ihn Gattungsbegriff, wenn er eine Menge existirender Dinge, wir nennen ihn Gesetz, wenn er eine Reihe von Vorgängen oder Ereignissen umfasst. Wenn ich ermittelt habe, dass alle Säugethiere, d. h. alle warmblütigen Thiere, welche lebendige Junge gebären, auch zugleich durch Lungen athmen, zwei Herzkammern und mindestens drei Gehörknöchelchen haben, so brauche ich die genannten anatomischen Eigenthümlichkeiten nicht mehr von Affen, Pferd, Hund und Walfisch einzeln zu behalten. Die allgemeine Regel umfasst hier eine ungeheure Menge von einzelnen Fällen und vertritt sie im Gedächtniss. Wenn ich das Brechungsgesetz der Lichtstrahlen ausspreche, so umfasst dieses Gesetz nicht nur die Fälle, wo Strahlen unter den verschiedensten Winkeln auf eine einzelne ebene Wasserfläche fallen, und giebt mir Auskunft über den Erfolg, sondern es umfasst alle Fälle, wo Lichtstrahlen irgend einer Farbe auf die irgendwie gestaltete Oberfläche einer irgendwie gearteten durchsichtigen Substanz fallen. Es umfasst also dieses Gesetz eine wirklich unendliche Anzahl von Fällen, welche im Gedächtniss einzeln zu bewahren gar nicht möglich gewesen

sein würde. Dabei ist aber weiter zu bemerken, dass dasselbe Gesetz nicht nur diejenigen Fälle umfasst, die wir oder Andere schon beobachtet haben, sondern wir werden auch nicht anstehen, es auf neue, noch nicht beobachtete Fälle anzuwenden, um den Erfolg der Lichtbrechung danach vorauszusagen, und werden uns in unserer Erwartung nicht getäuscht finden. Ebenso werden wir, falls wir ein unbekanntes, noch nicht anatomisch zerlegtes Säugethier finden sollten, mit einer an Gewissheit grenzenden Wahrscheinlichkeit voraussetzen dürfen, dass dasselbe Lungen, zwei Herzkammern, und drei oder mehr Gehörknöchelchen habe.

Indem wir also die Thatsachen der Erfahrung denkend zusammenfassen und Begriffe bilden, seien es nun Gattungsbegriffe oder Gesetze, so bringen wir unser Wissen nicht nur in eine Form, in der es leicht zu handhaben und aufzubewahren ist, sondern wir erweitern es auch, da wir die gefundenen Regeln und Gesetze auch auf alle ähnlichen künftig noch aufzufindenden Fälle auszudehnen berechtigt sind.

Die genannten Beispiele sind solche, in denen keine Schwierigkeit mehr besteht, die Einzelfälle durch Denken zu Begriffen zusammenzufassen und in denen das Wesen des ganzen Vorganges klar vor Augen liegt. Aber in complizirten Fällen gelingt es uns nicht so gut, das Aehnliche rein vom Unähnlichen zu scheiden und es zu einem scharf und klar begrenzten Begriffe zusammenzufassen. Nehmen Sie an, dass wir einen Menschen als ehrgeizig kennen; wir werden vielleicht mit ziemlicher Sicherheit vorhersagen, dass, wenn dieser Mann unter gewissen Bedingungen zu handeln hat, er seinem Ehrgeize folgen und sich für eine gewisse Art des Handelns entscheiden wird. Aber weder können wir mit voller Bestimmtheit definiren, woran ein Ehrgeiziger zu erkennen, oder nach welchem Maasse der Grad seines Ehrgeizes zu messen ist, noch können wir mit Bestimmtheit sagen, welcher Grad des Ehrgeizes vorhanden sein muss, damit er in dem betreffenden Falle den Handlungen des Mannes gerade die betreffende Richtung gebe. Wir machen also unsere Vergleichungen zwischen den bisher beobachteten Handlungen des einen Mannes und zwischen den Handlungen anderer Männer, welche in ähnlichen Fällen ähnlich gehandelt haben, und ziehen unseren Schluss auf den Erfolg der künftigen Handlungen, ohne weder den Major noch den Minor dieses Schlusses in einer bestimmten und deutlich begrenzten Form aussprechen zu können, ja ohne uns vielleicht selbst klar gemacht zu haben, dass unsere Vorhersagung auf der beschrie-

benen Vergleichung beruht. Unser Urtheil geht in einem solchen Falle nur aus einem gewissen psychologischen Tacte, nicht aus bewusstem Schliessen hervor, obgleich im Wesentlichen der geistige Prozess derselbe geblieben ist, wie in dem Falle, wo wir einem neugefundenen Säugethiere Lungen zuschreiben.

Diese letztere Art der Induction nun, welche nicht bis zur vollendeten Form des logischen Schliessens, nicht zur Aufstellung ausnahmslos geltender Gesetze durchgeführt werden kann, spielt im menschlichen Leben eine ungeheuer ausgebreitete Rolle. Auf ihr beruht die ganze Ausbildung unserer Sinneswahrnehmungen, wie sich namentlich durch die Untersuchung der sogenannten Sinnestäuschungen nachweisen lässt. Wenn z. B. in unserem Auge die Nervenausbreitung durch einen Stoss gereizt wird, so bilden wir die Vorstellung von Licht im Gesichtsfelde, weil wir unser ganzes Leben lang Reizung in unseren Sehnervenfasern nur dann gefühlt haben, wenn Licht im Gesichtsfelde war, und wir gewöhnt sind, die Empfindung der Sehnervenfasern mit Licht im Gesichtsfelde zu identifiziren, was wir auch in einem Falle thun, wo es nicht passt. Dieselbe Art der Induction spielt denn auch eine Hauptrolle den psychologischen Vorgängen gegenüber, wegen der ausserordentlichen Verwickelung der Einflüsse, welche die Bildung des Charakters und der momentanen Gemüthsstimmung der Menschen bedingen. Ja, da wir uns selbst freien Willen zuschreiben, d. h. die Fähigkeit, aus eigener Machtvollkommenheit zu handeln, ohne dabei von einem strengen und unausweichlichen Causalitätsgesetze gezwungen zu sein, so leugnen wir dadurch überhaupt ganz und gar die Möglichkeit, wenigstens einen Theil der Aeusserungen unserer Seelenthätigkeit auf ein streng bindendes Gesetz zurückzuführen.

Man könnte nun diese Art der Induction im Gegensatz zu der logischen, welche es zu scharf definirten allgemeinen Sätzen bringt, die künstlerische Induction nennen, weil sie im höchsten Grade bei den ausgezeichneteren Kunstwerken hervortritt. Es ist ein wesentlicher Theil des künstlerischen Talentes, die charakteristischen äusseren Kennzeichen eines Charakters und einer Stimmung durch Worte, Form und Farbe, oder durch Töne wiedergeben zu können und durch eine Art instinctiver Anschauung zu erfassen, wie sich die Seelenzustände fortentwickeln müssen, ohne doch dabei durch irgend eine fassbare Regel geleitet zu werden. Im Gegentheil, wo wir merken, dass der Künstler mit Bewusstsein nach allgemeinen Regeln und Abstractionen ge-

arbeitet hat, finden wir sein Werk arm und trivial, und es ist mit unserer Bewunderung zu Ende. Die Werke der grossen Künstler bringen uns die Bilder der Charaktere und Stimmungen mit einer Lebhaftigkeit, einem Reichthum an individuellen Zügen und einer überzeugenden Kraft der Wahrheit entgegen, welche der Wirklichkeit fast überlegen scheint, weil die störenden Momente daraus fernbleiben.

Ueberblicken wir nun die Reihe der Wissenschaften mit Beziehung auf die Art, wie sie ihre Resultate zu ziehen haben, so tritt uns ein durchgehender Unterschied zwischen den Naturwissenschaften und den Geisteswissenschaften entgegen. Die Naturwissenschaften sind meist im Stande, ihre Inductionen bis zu scharf ausgesprochenen allgemeinen Regeln und Gesetzen durchzuführen; die Geisteswissenschaften dagegen haben es überwiegend mit Urtheilen nach psychologischem Tactgefühl zu thun. So müssen die historischen Wissenschaften zunächst die Glaubwürdigkeit der Berichterstatter, die ihnen die Thatsachen überliefern, prüfen; sind die Thatsachen festgestellt, so beginnt ihr schwereres und wichtigeres Geschäft, die oft sehr verwickelten und mannigfaltigen Motive der handelnden Völker und Individuen aufzusuchen; beides ist wesentlich zu entscheiden nur durch psychologische Anschauung. Die philologischen Wissenschaften, insofern sie sich mit Erklärung und Verbesserung der uns überlieferten Texte, mit Literatur- und Kunstgeschichte beschäftigen, müssen den Sinn, den der Schriftsteller auszudrücken, die Nebenbeziehungen, welche er durch seine Worte anzudeuten beabsichtigte, herauszufühlen suchen; sie müssen zu dem Ende von einer richtigen Anschauung sowohl der Individualität des Schriftstellers als des Genius der Sprache, in der er schrieb, auszugehen wissen. Alles dies sind Fälle künstlerischer, nicht eigentlich logischer Induction. Das Urtheil lässt sich hier nur gewinnen, wenn eine sehr grosse Menge von einzelnen Thatsachen ähnlicher Art im Gedächtniss bereit ist, um schnell mit der gerade vorliegenden Frage in Beziehung gesetzt zu werden. Eines der ersten Erfordernisse für diese Art von Studien ist deshalb ein treues und bereites Gedächtniss. In der That haben viele der berühmten Historiker und Philologen durch die Kraft ihres Gedächtnisses das Staunen ihrer Zeitgenossen erregt. Natürlich wäre das Gedächtniss allein nicht ausreichend ohne die Fähigkeit, schnell das wesentlich Aehnliche überall herauszufinden, ohne eine fein und reich ausgebildete Anschauung der Seelenbewegungen des

Menschen, welche letztere wieder nicht ohne eine gewisse Wärme des Gefühls und des Interesses an der Beobachtung der Seelenzustände Anderer zu erreichen sein möchte. Während uns der lebendige Verkehr mit Menschen im täglichen Leben die Grundlage dieser psychologischen Anschauungen geben muss, dient auch das Studium der Geschichte und der Kunst dazu, sie zu ergänzen und zu bereichern, indem sie uns Menschen in ungewöhnlichen Umständen handelnd zeigen, und wir an ihnen die ganze Breite der Kräfte ermessen lernen, die in unserer Brust verborgen liegen.

Die genannten Theile der Wissenschaft bringen es. der Regel nach, nicht bis zur Formulirung streng gültiger allgemeiner Gesetze, mit Ausnahme der Grammatik. Die Gesetze der Grammatik sind durch menschlichen Willen festgestellt, wenn sie auch nicht in bewusster Absicht und nach einem überdachten Plane gegeben wurden, vielmehr sich allmählich nach dem Bedürfnisse entwickelt haben. Sie treten daher demjenigen, welcher die Sprache erlernt, gegenüber als Gebote, d. h. Gesetze, die durch eine fremde Autorität festgestellt sind.

An die historischen und philologischen Wissenschaften schliessen sich Theologie und Jurisprudenz an, deren Vorbereitungsstudien und Hülfswissenschaften ja wesentlich dem Kreise jener Studien angehören. Die allgemeinen Gesetze, welche wir in beiden finden, sind ebenfalls Gebote; Gesetze, welche durch fremde Autorität für den Glauben und das Handeln in moralischer und juristischer Beziehung gegeben sind, nicht Gesetze, welche, wie die Naturgesetze, die Verallgemeinerung einer Fülle von Thatsachen enthalten. Aber wie bei der Anwendung eines Naturgesetzes auf einen gegebenen Fall, geschieht auch die Subsumption unter die grammatikalischen, juristischen, moralischen und dogmatischen Gebote in der Form des bewussten logischen Schliessens. Das Gebot bildet den Major eines solchen Schlusses; der Minor muss festsetzen, ob der zu beurtheilende Fall die Bedingungen an sich trägt, für welche das Gebot gegeben ist. Die Lösung dieser letzteren Aufgabe wird nun allerdings sowohl bei der grammatikalischen Analyse, welche den Sinn des auszusprechenden Satzes deutlich machen soll, wie bei der juristischen Beurtheilung der Glaubwürdigkeit des Thatbestandes, oder der Absichten der handelnden Personen, oder des Sinnes der von ihnen erlassenen Schriftstücke, meist wieder eine Sache der psychologischen Anschauung sein. Dagegen lässt sich

nicht verkennen, dass sowohl die Syntax der ausgebildeten Sprachen, als das durch mehr als zweitausendjährige Praxis allmählich verfeinerte System unserer Rechtswissenschaft einen hohen Grad von logischer Vollständigkeit und Consequenz erlangt hat; so dass im Ganzen die Fälle, welche sich nicht klar unter eines der gegebenen Gesetze schicken wollen, zu den Ausnahmen gehören. Freilich werden solche immer bestehen bleiben, da die von Menschen hingestellten Gesetzgebungen niemals die Folgerichtigkeit und Vollständigkeit der Naturgesetze haben dürften. In solchen Fällen bleibt nichts übrig, als die Absicht des Gesetzgebers aus der Analogie und Consequenz der für ähnliche Fälle gegebenen Bestimmungen zu errathen, beziehentlich zu ergänzen.

Das grammatische und juristische Studium hat einen gewissen Vortheil als Bildungsmittel des Geistes dadurch, dass dabei die verschiedenen Arten geistiger Thätigkeit ziemlich gleichmässig in Anspruch genommen werden. Deshalb ist auch die höhere Schulbildung der neueren europäischen Völker überwiegend auf das Studium fremder Sprachen mittelst der Grammatik gestützt. Die Muttersprache und auch fremde Sprachen, welche man allein durch Uebung lernt, nehmen nicht das bewusste logische Denken in Anspruch; wohl aber kann man an ihnen das Gefühl für künstlerische Schönheit des Ausdruckes üben. Griechisch und Lateinisch dagegen, die beiden klassischen Sprachen, haben neben ihrer ausserordentlich feinen künstlerischen und logischen Ausbildung den Vorzug, welchen die meisten alten und ursprünglichen Sprachen zu haben scheinen, dass sie durch sehr volle und deutlich unterschiedene Flexionsformen das grammatikalische Verhältniss der Worte und der Sätze zu einander genau bezeichnen. Durch langen Gebrauch werden die Sprachen abgeschliffen, die grammatikalischen Bezeichnungen im Interesse praktischer Kürze und Schnelligkeit auf das Nothwendigste zurückgeführt und dadurch unbestimmter gemacht. Das lässt sich auch an den modernen europäischen Sprachen, im Vergleich mit dem Lateinischen, deutlich erkennen; am weitesten ist in dieser Richtung des Abschleifens das Englische vorgeschritten. Darin scheint es mir auch wesentlich zu beruhen, dass die modernen Sprachen als Unterrichtsmittel viel weniger geeignet sind, als die älteren.

Wie die Jugend an der Grammatik gebildet wird, so benutzt man aus ähnlichen Gründen mit Recht das juristische Studium

als Bildungsmittel für ein reiferes Lebensalter, auch da, wo es nicht unmittelbar durch die praktischen Zwecke des Berufes gefordert wird.

Das entgegengesetzte Extrem zu den philologisch-historischen Wissenschaften bieten in Bezug auf die Art geistiger Arbeit die Naturwissenschaften dar. Nicht als ob in manchen Gebieten dieser Wissenschaften ein instinctives Gefühl für Analogien und ein gewisser künstlerischer Tact nicht auch eine Rolle zu spielen hätten. In den naturhistorischen Fächern ist im Gegentheil die Beurtheilung, welche Kennzeichen der Arten als wichtig für die Systematik, welche als unwichtig zu betrachten seien, welche Abtheilungen der Thier- und Pflanzenwelt natürlicher seien als andere, wesentlich nur einem solchen Tacte überlassen, der ohne genau definirbare Regel verfährt. Bezeichnend ist es auch, dass zu den vergleichend anatomischen Untersuchungen über die Analogie entsprechender Organe verschiedener Thiere und zu der analogen Lehre von der Metamorphose der Blätter im Pflanzenreich ein Künstler, nämlich Goethe, den Anstoss gegeben und dass durch ihn die wesentliche Richtung vorgezeichnet wurde, welche die vergleichende Anatomie seit jener Zeit genommen hat. Aber selbst in diesen Fächern, wo wir es noch mit den unverstandensten Wirkungen der Lebensvorgänge zu thun haben, ist es meist viel leichter, allgemeine umfassende Begriffe und Sätze aufzufinden und scharf auszusprechen, als da, wo wir unser Urtheil auf die Analyse von Seelenthätigkeiten gründen müssen. In vollem Maasse ausgeprägt zeigt sich der besondere wissenschaftliche Charakter der Naturwissenschaften erst in den experimentirenden und mathematisch ausgebildeten Fächern, am meisten in der reinen Mathematik.

Der wesentliche Unterschied dieser Wissenschaften beruht, wie mir scheint, darauf, dass es in ihnen verhältnissmässig leicht ist, die Einzelfälle der Beobachtung und Erfahrung zu allgemeinen Gesetzen von unbedingter Gültigkeit und ausserordentlich umfassendem Umfange zu vereinigen, während gerade dieses Geschäft in den zuerst besprochenen Wissenschaften unüberwindliche Schwierigkeiten darzubieten pflegt. Ja in der Mathematik sind die ersten allgemeinen Sätze, welche sie als Axiome an die Spitze stellt, von so geringer Zahl, von so unendlichem Umfange und solcher unmittelbaren Evidenz, dass man gar keinen Beweis für sie zu geben braucht. Man bedenke, dass die ganze reine Mathematik (Arithmetik) entwickelt ist aus den drei Axiomen:

„Wenn zwei Grössen einer dritten gleich sind, sind sie unter sich gleich."

„Gleiches zu Gleichem addirt giebt Gleiches."

„Ungleiches zu Gleichem addirt giebt Ungleiches."

Nicht zahlreicher sind die Axiome der Geometrie und der theoretischen Mechanik. Die genannten Wissenschaften entwickeln sich aus diesen wenigen Fordersätzen, indem man die Folgerungen aus denselben in immer verwickelteren Fällen zieht. Die Arithmetik beschränkt sich nicht darauf, die mannigfaltigsten Aggregate einer endlichen Zahl von Grössen zu addiren; sie lehrt in der höheren Analysis sogar unendlich viele Summanden zu addiren, deren Grösse nach den verschiedensten Gesetzen wächst oder abnimmt, also Aufgaben zu lösen, die auf directem Wege niemals zu Ende geführt werden könnten. Hier sehen wir die bewusste logische Thätigkeit unseres Geistes in ihrer reinsten und vollendetsten Form; wir können hier die ganze Mühe derselben kennen lernen, die grosse Vorsicht, mit der sie vorschreiten muss, die Genauigkeit, welche nöthig ist, um den Umfang der gewonnenen allgemeinen Sätze genau zu bestimmen, die Schwierigkeit, abstracte Begriffe zu bilden und zu verstehen; aber ebenso auch Vertrauen fassen lernen in die Sicherheit, Tragweite und Fruchtbarkeit solcher Gedankenarbeit.

Letztere tritt nun noch auffälliger in den angewandten mathematischen Wissenschaften hervor, namentlich in der mathematischen Physik, zu welcher auch die physische Astronomie zu rechnen ist. Nachdem Newton einmal aus der mechanischen Analyse der Planetenbewegungen erkannt hat, dass alle wägbare Materie in der Entfernung sich anzieht mit einer Kraft, die dem Quadrate des Abstandes umgekehrt proportional ist, so genügt dieses eine einfache Gesetz, um die Bewegungen der Planeten vollständig und mit grösster Genauigkeit zu berechnen in die fernsten Fernen der Vergangenheit und Zukunft hinaus, wenn nur Ort, Geschwindigkeit und Masse aller einzelnen Körper unseres Systems für irgend einen beliebigen Zeitpunkt gegeben sind; ja wir erkennen das Wirken derselben Kraft auch in den Bewegungen von Doppelsternen wieder, deren Entfernungen so weit sind, dass ihr Licht Jahre braucht, um von ihnen hierher zu gelangen, ja zum Theil so weit, dass die Versuche, sie zu messen, bisher gescheitert sind.

Diese Entdeckung des Gravitationsgesetzes und seiner Consequenzen ist die imponirendste Leistung, deren die logische Kraft

des menschlichen Geistes jemals fähig gewesen ist. Ich will nicht sagen, dass nicht Männer mit ebenso grosser oder grösserer Kraft der Abstraction gelebt hätten, als Newton und die übrigen Astronomen, welche seine Entdeckung theils vorbereitet, theils ausgebeutet haben; aber es hat sich niemals ein so geeigneter Stoff dargeboten, als die verwirrten und verwickelten Planetenbewegungen, die vorher bei den ungebildeten Beschauern nur astrologischen Aberglauben genährt hatten, und nun unter ein Gesetz gebracht wurden, welches im Stande war, von den kleinsten Einzelheiten ihrer Bewegungen die genaueste Rechenschaft abzulegen.

An diesem grössten Beispiele und nach seinem Muster hat sich nun auch eine Reihe von anderen Zweigen der Physik entwickelt, unter denen namentlich die Optik und die Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus zu nennen sind. Die experimentirenden Wissenschaften haben bei der Aufsuchung der allgemeinen Naturgesetze den grossen Vortheil vor den beobachtenden voraus, dass sie willkürlich die Bedingungen verändern können, unter denen der Erfolg eintritt, und sich deshalb auf eine nur kleine Zahl charakteristischer Fälle der Beobachtung beschränken dürfen, um das Gesetz zu finden. Die Gültigkeit des Gesetzes muss dann freilich auch an verwickelteren Fällen geprüft werden. So sind die physikalischen Wissenschaften, nachdem einmal die richtigen Methoden gefunden waren, verhältnissmässig schnell fortgeschritten. Sie haben uns nicht nur fähig gemacht, Blicke in die Urzeit zu werfen, wo die Weltennebel zu Gestirnen sich zusammenballten und durch die Gewalt ihres Zusammendrängens glühend wurden, nicht nur erlaubt, die chemischen Bestandtheile der Sonnenatmosphäre zu erforschen — die Chemie der fernsten Fixsterne wird wahrscheinlich nicht lange auf sich warten lassen [1]) — sondern sie haben uns auch gelehrt, die Kräfte der uns umgebenden Natur zu unserem Nutzen auszubeuten und sie unserem Willen dienstbar zu machen.

Aus dem Gesagten wird nun schon erhellen, wie verschieden von der erst besprochenen ihrem grössten Theile nach die geistige

---

[1]) Bekanntlich ist eine Fülle interessanter Entdeckungen in dieser Beziehung schon gemacht worden, seit der ersten im April 1864 veröffentlichten Arbeit von W. Huggins und W. A. Miller, in der die Analyse der Atmosphären des Aldebaran und α Orionis gegeben und leuchtender Wasserstoff in den Nebelflecken nachgewiesen wurde.

Thätigkeit in diesen Wissenschaften ist. Der Mathematiker braucht gar kein Gedächtniss für einzelne Thatsachen, der Physiker sehr wenig davon zu haben. Die auf Erinnerung ähnlicher Fälle gebauten Vermuthungen können wohl nützlich sein, um zuerst auf eine richtige Spur zu bringen; Werth bekommen sie erst, wenn sie zu einem streng formulirten und genau begrenzten Gesetze geführt haben. Der Natur gegenüber besteht kein Zweifel, dass wir es mit einem ganz strengen Causalnexus zu thun haben, der keine Ausnahmen zulässt. Deshalb ergeht an uns auch die Forderung, fortzuarbeiten, bis wir ausnahmslose Gesetze gefunden haben. Eher dürfen wir uns nicht beruhigen; erst in dieser Form erhalten unsere Kenntnisse die siegende Kraft über Raum und Zeit und Naturgewalt.

Die eiserne Arbeit des selbstbewussten Schliessens erfordert grosse Hartnäckigkeit und Vorsicht, sie geht in der Regel nur sehr langsam vor sich und wird selten durch schnelle Geistesblitze gefördert. Es ist bei ihr wenig zu finden von der Bereitwilligkeit, mit der die verschiedensten Erfahrungen dem Gedächtnisse des Historikers oder Philologen zuströmen müssen. Im Gegentheil ist die wesentliche Bedingung für den methodischen Fortschritt des Denkens, dass der Gedanke auf einen Punkt concentrirt bleibe, ungestört von Nebendingen, ungestört auch von Wünschen und von Hoffnungen, und dass er nur nach seinem eigenen Willen und Entschlusse fortschreite. Ein berühmter Logiker, Stuart Mill, erklärt es als seine Ueberzeugung, dass die inductiven Wissenschaften in der neuesten Zeit mehr für die Fortschritte der logischen Methoden gethan hätten, als alle Philosophen von Fach. Ein wesentlicher Grund hierfür liegt gewiss in dem Umstande, dass auf keinem Gebiete des Wissens ein Fehler in der Gedankenverbindung sich so leicht durch falsche Resultate zu erkennen giebt, als in diesen Wissenschaften, wo wir die Ergebnisse der Gedankenarbeit meist direct mit der Wirklichkeit vergleichen können.

Indem ich hier die Behauptung aufgestellt habe, dass, namentlich in den mathematisch ausgebildeten Theilen der Naturwissenschaften, die Lösung der Aufgaben ihrem Ziele näher gekommen ist, als im Allgemeinen in den übrigen Wissenschaften, so bitte ich nicht zu glauben, dass ich diese den Naturwissenschaften gegenüber herabsetzen will. Wenn diese die grössere Vollendung in der wissenschaftlichen Form voraus haben, so haben die Geisteswissenschaften vor ihnen voraus,

dass sie einen reicheren, dem Interesse des Menschen und seinem Gefühle näher liegenden Stoff zu behandeln haben, nämlich den menschlichen Geist selbst in seinen verschiedenen Trieben und Thätigkeiten. Sie haben die höhere und schwerere Aufgabe, aber es ist klar, dass ihnen das Beispiel derjenigen Zweige des Wissens nicht verloren gehen darf, welche, des leichter zu bezwingenden Stoffes wegen, in formaler Beziehung weiter vorwärts geschritten sind. Sie können von ihnen in der Methode lernen und von dem Reichthum ihrer Ergebnisse sich Ermuthigung holen. Auch glaube ich in der That, dass unsere Zeit schon mancherlei von den Naturwissenschaften gelernt hat. Unbedingte Achtung vor den Thatsachen und Treue in ihrer Sammlung, ein gewisses Misstrauen gegen den sinnlichen Schein; das Streben, überall nach einem Causalnexus zu suchen und einen solchen vorauszusetzen, wodurch sich unsere Zeit von früheren unterscheidet, scheinen auf einen solchen Einfluss hinzudeuten.

Inwiefern den mathematischen Studien, als den Repräsentanten der selbstbewussten logischen Geistesthätigkeit, ein grösserer Einfluss in der Schulbildung eingeräumt werden müsse, will ich hier nicht erörtern. Es ist dies wesentlich eine Frage der Zeit. In dem Maasse, wie der Umfang der Wissenschaft sich erweitert, muss auch ihre Systematisirung und Organisation verbessert werden, und es wird nicht fehlen können, dass sich auch die Individuen genöthigt sehen werden, strengere Schulen des Denkens durchzumachen, als die Grammatik zu gewähren im Stande ist. Was mir in eigener Erfahrung bei den Schülern, die aus unseren grammatischen Schulen zu naturwissenschaftlichen und medicinischen Studien übergehen, aufzufallen pflegt, ist, erstens, eine gewisse Laxheit in der Anwendung streng allgemeingültiger Gesetze. Die grammatischen Regeln, an denen sie sich geübt haben, sind in der That meist mit langen Verzeichnissen von Ausnahmen versehen; die Schüler sind deshalb nicht gewöhnt, auf die Sicherheit der legitimen Consequenz eines streng allgemeinen Gesetzes unbedingt zu vertrauen. Zweitens finde ich sie meist zu sehr geneigt, sich auf Autoritäten zu stützen, auch da, wo sie sich ein eigenes Urtheil bilden könnten. In den philologischen Studien wird in der That der Schüler, weil er selten das ganze Material übersehen kann, und weil die Entscheidung oft von dem ästhetischen Gefühl für die Schönheit des Ausdruckes und dem Genius der Sprache abhängt, sogar von den besten Lehrern auf Autoritäten verwiesen werden müssen. Beide Fehler beruhen auf einer

gewissen Trägheit und Unsicherheit des Denkens, die nicht bloss späteren naturwissenschaftlichen Studien schädlich sein wird. Gegen beides sind mathematische Studien das beste Heilmittel; da giebt es absolute Sicherheit des Schliessens, und da herrscht keine Autorität als die des eigenen Verstandes.

So viel über die verschiedenen sich gegenseitig ergänzenden Richtungen der geistigen Arbeit in den verschiedenen Zweigen der Wissenschaft.

Das Wissen allein ist aber nicht Zweck des Menschen auf der Erde. Obgleich die Wissenschaften die feinsten Kräfte des menschlichen Geistes erwecken und ausbilden, so wird doch derjenige keine rechte Ausfüllung seines Daseins auf Erden finden, welcher nur studirt, um zu wissen. Wir sehen oft genug reich begabte Männer, denen ihr Glück oder Unglück eine behagliche äussere Existenz zugeworfen hat, ohne ihnen zugleich den Ehrgeiz oder die Energie zum Wirken mitzutheilen, ein gelangweiltes und unbefriedigtes Leben dahinschleppen, während sie in fortdauernder Sorge für Vermehrung ihres Wissens und weitere Bildung ihres Geistes dem edelsten Lebenszwecke zu folgen glauben. Nur das Handeln giebt dem Manne ein würdiges Dasein; also entweder die praktische Anwendung des Gewussten, oder die Vermehrung der Wissenschaft selbst muss sein Ziel sein. Denn auch das letztere ist ein Handeln für den Fortschritt der Menschheit. Damit gehen wir denn über zu dem zweiten Bande, welches die Arbeit der verschiedenen Wissenschaften mit einander verknüpft, nämlich zur Verbindung ihres Inhaltes.

Wissen ist Macht. Keine Zeit kann diesen Grundsatz augenfälliger darlegen als die unsere. Die Naturkräfte der unorganischen Welt lehren wir den Bedürfnissen des menschlichen Lebens und den Zwecken des menschlichen Geistes zu dienen. Die Anwendung des Dampfes hat die Körperkraft der Menschen in das Tausendfache und Millionenfache vermehrt; Webe- und Spinnmaschinen haben solche Arbeiten übernommen, deren einziges Verdienst geisttödtende Regelmässigkeit ist. Der Verkehr der Menschen unter einander mit seinen gewaltig eingreifenden materiellen und geistigen Folgen ist in einer Weise gesteigert, wie es sich Niemand auch nur hätte träumen lassen in der Zeit, als die Aelteren unter uns ihr Leben begannen. Es sind aber nicht nur die Maschinen, durch welche die Menschenkräfte vervielfältigt werden; es sind nicht nur die gezogenen Gussstahlkanonen und die Panzerschiffe, die Vorräthe an Lebensmitteln

und Geld, auf denen die Macht einer Nation beruht, obgleich diese Dinge so deutlich ihren Einfluss gezeigt haben, dass auch die stolzesten und unnachgiebigsten der absoluten Regierungen unserer Zeit daran denken mussten, die Industrie zu entfesseln und den politischen Interessen der arbeitenden bürgerlichen Classen eine berechtigte Stimme in ihrem Rathe einzuräumen. Es ist die politische und rechtliche Organisation des Staates, die moralische Disciplin der Einzelnen, welche das Uebergewicht der gebildeten Nationen über die ungebildeten bedingt, und die letzteren, wo sie die Cultur nicht anzunehmen wissen, einer unausbleiblichen Vernichtung entgegenführt. Hier greift Alles in einander. Wo kein fester Rechtszustand ist, wo die Interessen der Mehrzahl des Volkes sich nicht in geordneter Weise geltend machen können, da ist auch die Entwickelung des Nationalreichthums und der darauf beruhenden Macht unmöglich; und zum rechten Soldaten wird nur der werden können, welcher unter gerechten Gesetzen das Ehrgefühl eines selbständigen Mannes auszubilden gelernt hat; nicht der Sklave, der den Launen eines eigenwilligen Gebieters unterworfen ist.

Daher ist denn auch jede Nation als Ganzes schon durch die alleräusserlichsten Zwecke der Selbsterhaltung, auch ohne auf höhere ideale Forderungen Rücksicht zu nehmen, nicht nur an der Ausbildung der Naturwissenschaften und ihrer technischen Anwendung interessirt, sondern ebenso gut an der Ausbildung der politischen, juristischen und moralischen Wissenschaften, und aller derjenigen historischen und philologischen Hülfsfächer, die diesen dienen. Keine Nation, welche selbständig und einflussreich bleiben will, darf zurück bleiben. Auch fehlt diese Erkenntniss bei den cultivirten Völkern Europas nicht. Die öffentlichen Mittel, welche den Universitäten, Schulen und wissenschaftlichen Anstalten zugewendet werden, übertreffen alles, was in früheren Zeiten dafür geleistet werden konnte. Ich sprach in der Einleitung von der wachsenden Theilung und Organisation der wissenschaftlichen Arbeit. In der That bilden die Männer der Wissenschaft eine Art organisirter Armee. Sie suchen zum Besten der ganzen Nation, und fast immer in deren Auftrag und auf deren Kosten, die Kenntnisse zu vermehren, welche zur Steigerung der Industrie, des Reichthums, der Schönheit des Lebens, zur Verbesserung der politischen Organisation und der moralischen Entwickelung der Individuen dienen können. Nicht nach dem unmittelbaren Nutzen freilich darf dabei gefragt werden, wie es der

Ununterrichtete so oft thut. Alles was uns über die Naturkräfte oder die Kräfte des menschlichen Geistes Aufschluss giebt, ist werthvoll und kann zu seiner Zeit Nutzen bringen, gewöhnlich an einer Stelle, wo man es am allerwenigsten vermuthet hätte. Als Galvani einen Froschschenkel mit verschiedenartigen Metallen berührte und ihn zucken sah, hätte wohl Niemand gedacht, dass 80 Jahre später Europa mit Drähten durchzogen sein würde, welche Nachrichten mit Blitzesschnelle von Madrid nach Petersburg tragen, mittelst desselben Vorganges, dessen erste Aeusserungen jener Anatom beobachtete! Die elektrischen Ströme waren Vorgänge, die in seinen und anfangs auch noch in Volta's Händen nur die allerschwächsten Kräfte ausübten und die nur durch die allerzartesten Beobachtungsmittel wahrgenommen werden konnten. Hätte man sie liegen lassen, weil ihre Untersuchung keinen Nutzen versprach, so würden in unserer Physik die wichtigsten und interessantesten Verknüpfungen der verschiedenartigen Naturkräfte unter einander fehlen. Als der junge Galilei in Pisa während des Gottesdienstes eine schaukelnde Lampe beobachtete und sich durch Abzählen seines Pulses überzeugte, dass die Dauer der Schwingungen unabhängig von der Grösse der Schwingungsbögen sei, wer konnte sich denken, dass diese Entdeckung dazu führen würde, mittelst der Pendeluhren eine damals für unmöglich gehaltene Feinheit der Zeitmessung zu erreichen, die es dem Seefahrer in den entferntesten Gewässern ermöglicht, zu erkennen, auf welchem Längengrade er sich befindet!

Wer bei der Verfolgung der Wissenschaften nach unmittelbarem praktischen Nutzen jagt, kann ziemlich sicher sein, dass er vergebens jagen wird. Vollständige Kenntniss und vollständiges Verständniss des Waltens der Natur- und Geisteskräfte ist es allein, was die Wissenschaft erstreben kann. Der einzelne Forscher muss sich belohnt sehen durch die Freude an neuen Entdeckungen, als neuen Siegen des Gedankens über den widerstrebenden Stoff; durch die ästhetische Schönheit, welche ein wohlgeordnetes Gebiet von Kenntnissen gewährt, in welchem geistiger Zusammenhang zwischen allen einzelnen Theilen stattfindet, eines aus dem anderen sich entwickelt und alles die Spuren der Herrschaft des Geistes zeigt. Er muss sich belohnt sehen durch das Bewusstsein, auch seinerseits beigetragen zu haben zu dem wachsenden Kapital des Wissens, auf welchem die Herrschaft der Menschheit über die dem Geiste feindlichen Kräfte beruht. Er wird freilich nicht immer erwarten dürfen, auch

die äussere Anerkennung und Belohnung zu empfangen, die dem Werthe seiner Arbeit entsprächen. Es ist wohl wahr, dass so Mancher, dem man nach seinem Tode ein Monument gesetzt hat, glücklich gewesen wäre, hätte man ihm während seines Lebens den zehnten Theil der dazu verwendeten Geldmittel gewährt. Indessen dürfen wir nicht verkennen, dass der Werth der wissenschaftlichen Entdeckungen gegenwärtig von der öffentlichen Meinung bereitwilliger anerkannt wird als früher, und dass solche Fälle, wo die Urheber bedeutender wissenschaftlicher Fortschritte darben müssen, seltener und seltener werden; dass, im Gegentheile, Regierungen und Völker im Ganzen das Bewusstsein der Pflicht gewonnen haben, dass ausgezeichnete Leistungen in der Wissenschaft durch entsprechende Stellungen oder durch besonders ausgeworfene Nationalbelohnungen zu vergelten seien.

So haben also die Wissenschaften einen gemeinsamen Zweck, den Geist herrschend zu machen über die Welt. Während die Geisteswissenschaften direct daran arbeiten, den Inhalt des geistigen Lebens reicher und interessanter zu gestalten, das Reine vom Unreinen zu sondern, so streben die Naturwissenschaften indirect nach demselben Ziele, indem sie den Menschen von den auf ihn eindrängenden Nothwendigkeiten der Aussenwelt mehr und mehr zu befreien suchen. Jeder einzelne Forscher arbeitet an seinem Theile; er wählt sich diejenigen Aufgaben, denen er, vermöge seiner geistigen Anlage und seiner Bildung, am meisten gewachsen ist. Jeder Einzelne muss aber wissen, dass er nur im Zusammenhange mit den Anderen das grosse Werk weiter zu fördern im Stande ist, und dass er deshalb verpflichtet ist, die Ergebnisse seiner Arbeit den Uebrigen möglichst vollständig und leicht zugänglich zu machen. Dann wird er Unterstützung finden bei den Anderen und wird ihnen wieder seine Unterstützung leihen können. Die Annalen der Wissenschaft sind reich an Beweisen solcher Wechselverhältnisse, die zwischen den scheinbar entlegensten Gebieten eingetreten sind. Die historische Chronologie ist wesentlich gestützt auf astronomische Berechnungen von Sonnen- und Mondfinsternissen, von denen die Nachricht in den alten Geschichtsbüchern aufbewahrt ist. Umgekehrt beruhen manche wichtige Daten der Astronomie, z. B. die Unveränderlichkeit der Tageslänge, die Umlaufszeit mancher Kometen auf alten historischen Nachrichten. Neuerdings haben es die Physiologen, unter ihnen namentlich Brücke, unternehmen können, das vollständige

System der von den menschlichen Sprachwerkzeugen zu bildenden Buchstaben aufzustellen und Vorschläge zu einer allgemeinen Buchstabenschrift darauf zu gründen, welche für alle menschlichen Sprachen passt. Hier ist also die Physiologie in den Dienst der allgemeinen Sprachwissenschaft getreten und hat schon die Erklärung mancher sonderbar scheinenden Lautumwandlungen geben können; indem diese nicht, wie man bisher es auszudrücken pflegte, durch die Gesetze der Euphonie, sondern durch die Aehnlichkeit der Mundstellungen bedingt waren. Die allgemeine Sprachwissenschaft giebt wiederum Kunde von den uralten Verwandtschaften, Trennungen und Wanderungen der Volksstämme in vorgeschichtlicher Zeit, und von dem Grade der Cultur, den sie zur Zeit ihrer Trennung erlangt hatten. Denn die Namen derjenigen Gegenstände, die sie damals schon zu benennen wussten, finden sich in den späteren Sprachen gemeinsam wieder. So liefert also das Studium der Sprachen historische Nachrichten aus Zeiten, für welche sonst kein historisches Document existirt. Ich erinnere ferner an die Hülfe, welche der Anatom dem Bildhauer leisten kann, wie dem Archäologen, welcher alte Sculpturwerke untersucht. Ist es mir erlaubt, eigener neuester Arbeiten hier zu gedenken, so will ich noch erwähnen, dass es möglich ist, durch die Physik des Schalles und die Physiologie der Tonempfindungen die Elemente der Construction unseres musikalischen Systems zu begründen, eine Aufgabe, die wesentlich in das Fach der Aesthetik hineingehört. Die Physiologie der Sinnesorgane überhaupt tritt in engste Verbindung mit der Psychologie. Sie weist in den Sinneswahrnehmungen die Resultate psychischer Prozesse nach, welche nicht in das Bereich des auf sich selbst reflectirenden Bewusstseins fallen und welche deshalb nothwendig der psychologischen Selbstbeobachtung verborgen bleiben mussten.

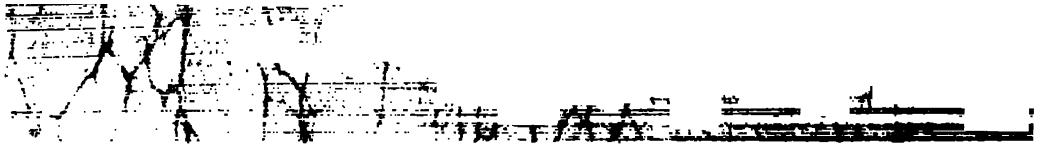
Ich konnte hier nur die auffälligsten, mit wenigen Worten leicht zu bezeichnenden Beispiele eines solchen Ineinandergreifens anführen und musste dazu die Beziehungen zwischen möglichst fern stehenden Wissenschaften wählen. Aber viel ausgedehnter natürlich ist der Einfluss, welchen die einzelne Wissenschaft auf die ihr nächstverwandte ausübt; er ist selbstverständlich, von ihm brauche ich nicht zu reden, denn jeder kennt ihn aus eigener Erfahrung.

So betrachte sich jeder Einzelne als einen Arbeiter an dem gemeinsamen grossen Werke, welches die edelsten Interessen der ganzen Menschheit berührt, nicht als einen solchen,

der zur Befriedigung seiner eigenen Wissbegier oder seines eigenen Vortheils oder um mit seinen eigenen Fähigkeiten zu glänzen, sich bemüht, dann wird ihm auch das eigene lohnende Bewusstsein und die Anerkennung seiner Mitbürger nicht fehlen. Diese Beziehung aller Forscher und aller Zweige des Wissens zu einander und zu ihrem gemeinsamen Ziele stets in lebendigem Zusammenwirken zu erhalten, das ist die grosse Aufgabe der Universitäten; darum ist es nöthig, dass an ihnen die vier Facultäten stets Hand in Hand gehen, und in diesem Sinne wollen wir uns bemühen, so weit es an uns ist, dieser grossen Aufgabe nachzustreben.

Ueber die Erhaltung der Kraft

Einleitung zu einem Cyclus von Vorlesungen,
gehalten zu Karlsruhe
im Winter 1862/63



Hochgeehrte Versammlung!

Indem ich es übernommen habe, vor Ihnen hier eine Reihe on Vorträgen zu halten, betrachte ich es als meine wesentlichste ufgabe, Ihnen, so gut ich es kann, an einem passend gewählten eispiele eine Anschauung von dem eigenthümlichen Charakter erjenigen Wissenschaften zu geben, deren Studium meine Lebens- ufgabe ist. Die Naturwissenschaften haben theils durch ihre raktischen Anwendungen, theils durch ihren geistigen Einfluss n den letzten vier Jahrhunderten sämmtliche Verhältnisse des ebens der civilisirten Nationen in hohem Grade und mit stei- nder Geschwindigkeit umgeformt. Sie haben diesen Nationen viel Zuwachs an Reichthum, Lebensgenuss, Sicherung der Ge- dheit, an Mitteln des industriellen und geselligen Verkehrs, bst an politischer Macht gegeben, dass jeder Gebildete, welcher treibenden Kräfte der Welt, in der er lebt, zu verstehen ht, auch wenn er sich nicht in das Studium der Specialitäten iefen mag, Interesse für die eigenthümliche Art der geistigen eit haben muss, die in den genannten Wissenschaften wirkt schafft.

Ich habe die charakteristischen Unterschiede in der Art der enschaftlichen Arbeit, die zwischen den Natur- und Geistes- enschaften bestehen, schon bei einer früheren Gelegenheit er- rt[1]). Ich habe dort zu zeigen versucht, dass es namentlich

[1]) Siehe die vorhergehende Vorlesung über das Verhältniss der Natur- senschaft zur Gesammtheit der Wissenschaft.

die durchgreifende und verhältnissmässig leicht darzulegende Gesetzlichkeit der Naturerscheinungen und Naturproducte ist, die den Unterschied bedingt. Nicht als ob ich die Gesetzlichkeit der Erscheinungen des psychischen Lebens in den Individuen und Völkern damit leugnen wollte, wie sie das Object der philosophischen, philologischen, historischen, moralischen, socialen Wissenschaften ausmachen. Aber im geistigen Leben ist das Gewebe der in einander greifenden Einflüsse so verwickelt, dass eine klare Gesetzlichkeit desselben nur selten bestimmt nachzuweisen ist. Umgekehrt in der Natur. Für viele und ausgedehnte Reihen von Naturerscheinungen ist es gelungen, das Gesetz ihres Ursprungs und Ablaufs genau und vollständig aufzufinden. Wir können mit der grössten Sicherheit auch ihren künftigen Eintritt voraussagen, oder, wo wir über die Bedingungen ihres Eintretens Gewalt haben, sie genau nach unserem Willen ablaufen lassen. Das grösste aller Beispiele dafür, wie viel der menschliche Verstand mittelst eines wohlerkannten Gesetzes den Naturerscheinungen gegenüber leisten kann, ist die moderne Astronomie. Das eine einfache Gravitationsgesetz regiert nicht nur die Bewegungen der himmlischen Körper unseres Planetensystemes, sondern auch die weit entfernten Doppelsterne, von denen selbst der schnellste aller Boten, der Lichtstrahl, Jahre braucht, ehe er zu unserem Auge gelangt. Eben wegen dieser einfachen Gesetzlichkeit lassen sich die Bewegungen der genannten Körper, trotz aller Complication der Rechnung, bis auf Bruchtheile einer Minute, genau voraus- und zurückberechnen, auf Jahre und Jahrhunderte hinaus. Auf dieser genauen Gesetzlichkeit beruht die Sicherheit, mit der wir die ungestüme Kraft des Dampfes zu zähmen und ihn zum gehorsamen Diener unserer Bedürfnisse zu machen wissen. Auf dieser Gesetzlichkeit beruht auch das geistige Interesse, welches den Naturforscher an seinen Gegenstand fesselt. Es ist ein Interesse anderer Art, als das in den Geisteswissenschaften waltende. Hier ist es der Mensch in den verschiedenen Richtungen seiner geistigen Thätigkeit, der uns fesselt. Jede grosse That, von der uns die Geschichte erzählt, jede mächtige Leidenschaft, welche die Kunst darstellt, jede Schilderung der Sitten, der staatlichen Einrichtungen, der Bildung von Völkern ferner Länder oder ferner Zeiten ergreift und interessirt uns, auch wenn wir sie nicht im Zusammenhange der Wissenschaft kennen lernen. Wir finden stets Punkte zur Anknüpfung und Vergleichung in unseren eigenen Vor-

stellungen und Gefühlen; wir lernen dabei die verborgenen Fähigkeiten und Triebe unserer eigenen Seele kennen, die im gewöhnlichen ruhigen Verlaufe eines civilisirten Lebens unerweckt bleiben.

Es ist nicht zu verkennen, dass diese Art des Interesses den Resultaten der Naturforschung abgeht. Jede einzelne Thatsache für sich genommen, kann allenfalls unsere Neugier, unser Staunen erregen oder uns nützlich sein für praktische Anwendung. Eine geistige Befriedigung aber gewährt erst der Zusammenhang des Ganzen, eben durch seine Gesetzlichkeit. Wir nennen Verstand das uns inne wohnende Vermögen, Gesetze zu finden und denkend anzuwenden. Für die Entfaltung der eigenthümlichen Kräfte des reinen Verstandes, nach ihrer ganzen Sicherheit und ihrer ganzen Tragweite, giebt es keinen geeigneteren Tummelplatz, als die Naturforschung im weiteren Sinne, die Mathematik mit eingeschlossen. Und es ist nicht nur die Freude an der erfolgreichen Thätigkeit eines unserer wesentlichsten Geistesvermögen oder an der siegreichen Unterwerfung der uns theils fremd, theils feindlich gegenüberstehenden Aussenwelt unter die Kräfte unseres Denkens und unseres Willens, welche diese Arbeit lohnend macht, sondern es tritt eine Art, ich möchte sagen, künstlerischer Befriedigung ein, wenn wir den ungeheuren Reichthum der Natur als gesetzmässig geordnetes Ganzes, als Kosmos, als Spiegelbild des gesetzmässigen Denkens unseres eigenen Geistes zu überschauen vermögen.

Die letzten Jahrzehnte der naturwissenschaftlichen Entwickelung haben uns zur Erkenntniss eines neuen allgemeinen Gesetzes aller Naturerscheinungen geführt. Es ist wegen seiner ausserordentlich ausgedehnten Tragweite und wegen des Zusammenhanges, den es zwischen den Naturerscheinungen aller Art, auch der fernsten Zeiten und der fernsten Orte, nachweist, besonders geeignet, Ihnen eine Anschauung von dem Charakter der Naturwissenschaften zu geben. Darum habe ich es zum Gegenstande dieser Vorlesungen gewählt.

Dieses Gesetz heisst das Gesetz von der Erhaltung der Kraft, ein Name, dessen Sinn ich Ihnen zu erklären haben werde. Es ist nicht absolut neu. Für beschränkte Gebiete von Naturerscheinungen war es schon während des vorigen Jahrhunderts von Newton und Bernoulli ausgesprochen worden; wesentliche Züge seiner weiteren Ausdehnung in der Wärmelehre hatten Rumford und Humphrey Davy erkannt. Die

Möglichkeit seiner allgemeinsten Gültigkeit sprach zuerst ein schwäbischer Arzt, Dr. Julius Robert Mayer, im Jahre 1842[1]) aus, während beinahe gleichzeitig und unabhängig von ihm der englische Techniker James Prescott Joule in Manchester eine Reihe wichtiger und schwieriger Versuche über das Verhältniss der Wärme zur mechanischen Kraft durchführte, welche dazu dienten, die Hauptlücken, in denen die Vergleichung der neuen Theorie mit der Erfahrung noch mangelhaft war, auszufüllen.

Das Gesetz, von dem die Rede ist, sagt aus, dass die Quantität der in dem Naturganzen vorhandenen wirkungsfähigen Kraft unveränderlich sei, weder vermehrt noch vermindert werden könne. Meine erste Aufgabe wird sein, Ihnen auseinanderzusetzen, was man unter Quantität der Kraft, oder mit Beziehung auf die technischen Anwendungen des Begriffes, populärer gesagt, was man unter Grösse der Arbeit in mechanischem Sinne versteht.

Der Begriff der Arbeit für Maschinen oder Naturprozesse ist aus dem Vergleich mit den Leistungen des Menschen hergenommen, und wir können uns daher am besten an der Arbeit des Menschen die wesentlichen Verhältnisse anschaulich machen, auf die es hierbei ankommt. Wenn wir von Arbeit der Maschinen und der Naturkräfte reden, so müssen wir in diesem Vergleiche natürlich von allem absehen, was sich an Thätigkeit der Intelligenz in die Arbeit des Menschen einmischt. Der Mensch ist einer harten und angestrengten Arbeit des Denkens fähig, die ebenso gut ermüdet, wie die Arbeit der Muskeln. Was in der Arbeit der Maschinen von Wirkungen der Intelligenz vorkommt, gehört jedoch dem Geiste ihres Erbauers an, und kann dem Werkzeuge nicht als Arbeit angerechnet werden.

Die äusserliche Arbeit der Menschen ist von der mannigfaltigsten Art, was Kraft oder Leichtigkeit, Form und Schnelligkeit der dazu gebrauchten Bewegungen, und was die Art der dadurch geförderten Werke betrifft. Aber sowohl der Arm des Grobschmiedes, der schwere Schläge mit dem mächtigen Hammer führt, wie der des Violinspielers, der die leisesten Abänderu

---

[1]) Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur in L Annalen XLII; weiter ausgeführt in: Die organische Bewegung in Zusammenhange mit dem Stoffwechsel. Heilbronn 1845; Beiträge z namik des Himmels. Ebenda 1848.

des Klanges zu erreichen weiss, und die Hand der Stickerin, welche mit Fäden, die an der Grenze des Sichtbaren liegen, ihr feines Werk ausführt: sie Alle empfangen die Kraft, welche sie bewegt, auf die gleiche Weise und durch dieselben Organe, nämlich durch die im Arme gelegenen Muskeln. Ein Arm, dessen Muskeln gelähmt sind, ist unfähig, irgend welche Arbeit zu leisten; die Bewegungskraft der Muskeln muss in ihm wirksam sein, und die Muskeln müssen den Nerven, die ihnen Befehle vom Gehirn zuführen, gehorchen können; dann ist das Glied der mannigfachsten Bewegungen fähig, dann kann es die mannigfachsten Werkzeuge regieren, um die verschiedenartigsten Werke auszuführen.

Ganz ähnlich verhält es sich mit den Maschinen; sie werden von uns zu den verschiedenartigsten Verrichtungen gebraucht, wir bringen durch sie eine unendliche Mannigfaltigkeit von Bewegungen hervor, mit den verschiedensten Graden von Kraft oder Schnelligkeit, von den mächtigen Hammer- und Walzwerken ab, wo Eisen wie eine weiche Masse geschnitten und geformt wird, bis zu den Spinn- und Webemaschinen, deren Arbeit mit dem Werke der Spinnen wetteifert. Die moderne Technik besitzt die reichste Auswahl von Mitteln, um die Bewegung umrollender Räder auf andere Räder mit vermehrter oder verminderter Geschwindigkeit zu übertragen; um die rotirenden Bewegungen der Räder in die hin- und hergehenden Bewegungen der Pumpenstempel, der Webeschiffchen, der fallenden Hämmer und Stampfen zu verwandeln, oder umgekehrt letztere in erstere; oder um Bewegungen von gleichförmiger Geschwindigkeit in solche von veränderlicher zu verwandeln und so fort. Dadurch wird diese reiche Anwendbarkeit der Maschinen für die verschiedenen Zweige der Industrie gewonnen. Bei aller Mannigfaltigkeit ist ihnen aber allen eines gemein: sie bedürfen alle einer Triebkraft, die sie in Bewegung setzt und erhält, wie die Werke der menschlichen Hand alle der Bewegungskraft der Muskeln bedürfen.

Nun bedarf die Arbeit des Schmiedes einer viel grösseren und intensiveren Anstrengung der Muskeln, als die des Violinspielers, und dem entsprechen bei den Maschinen ähnliche Unterschiede in der Gewalt und Ausdauer der erforderlichen Bewegungskraft. Diese Unterschiede, welche dem verschiedenen Grade der Anstrengung der Muskeln bei der menschlichen Arbeit entsprechen, sind es allein, an welche zu denken ist, wenn wir von der Grösse der Arbeit einer Maschine reden. Es wird also bei diesem

Begriffe von aller Mannigfaltigkeit der Wirkungen und Verrichtungen, die die Maschinen leisten, abgesehen, und nur an den Aufwand von Kraft gedacht.

Dieser uns geläufige Ausdruck: „Aufwand von Kraft“, der andeutet, dass die verwendete Kraft ausgegeben und verloren wird, führt uns zu einer weiteren charakteristischen Analogie zwischen den Leistungen des menschlichen Armes und denen der Maschinen. Je grösser die Anstrengung, und je länger deren Dauer, desto mehr ermüdet der menschliche Arm, desto mehr wird der Vorrath seiner Bewegungskraft zeitweise erschöpft. Wir werden sehen, dass diese Eigenheit, durch die Arbeit erschöpft zu werden, auch den Triebkräften der unorganischen Natur zukommt; ja, dass die Ermüdungsfähigkeit des menschlichen Armes nur eine von den Folgen des allgemeinen Gesetzes ist, mit dem wir es zu thun haben. Bei eingetretener Ermüdung ist unseren Muskeln Erholung nöthig; diese gewinnen wir durch Ruhe und Nahrung. Wir werden auch bei den unorganischen Triebkräften, wenn ihre Leistungsfähigkeit erschöpft ist, die Möglichkeit der Herstellung finden, wenn auch im Allgemeinen andere Mittel dazu angewendet werden müssen, als für den Arm des Menschen.

Wir können durch das Gefühl der Anstrengung und Ermüdung in unseren Muskeln uns wohl im Allgemeinen eine Anschauung bilden von dem, was unter der Grösse der Arbeit zu verstehen ist. Zunächst müssen wir uns aber an Stelle der unbestimmten Schätzung, welche dieser Vergleich ergiebt, einen klaren und scharfen Begriff von dem Maasse bilden, nach welchem wir die Grösse der Arbeit zu messen haben.

Das können wir besser an den einfachsten unorganischen Triebkräften ersehen als an den Leistungen unserer Muskeln, die ein zusammengesetzter Apparat von äusserst verwickelter Wirkungsweise sind.

Lassen wir die uns am besten bekannte und einfachste Kraft, die Schwere, als Triebkraft wirken. Sie wirkt zum Beispiel als solche in den Wanduhren, welche durch ein Gewicht getrieben werden. Dieses Gewicht, an einem Faden befestigt, der um eine mit dem ersten Zahnrade der Uhr verbundene Rolle geschlungen ist, kann dem Zuge der Schwere nicht folgen, ohne das ganze Uhrwerk dabei in Bewegung zu setzen. Nun bitte ich Sie, a folgende Punkte zu achten: Das Gewicht kann die Uhr nich in Bewegung setzen, ohne dass es dabei mehr und mehr herab

sinkt. Wenn es sich selbst nicht bewegte, würde es auch die Uhr nicht bewegen können, und seine Bewegung kann dabei nur eine solche sein, welche dem Zuge der Schwere folgt. Also, wenn die Uhr gehen soll, muss das Gewicht immer tiefer und tiefer, und endlich so weit sinken, dass die Schnur, die es trägt, abgelaufen ist; dann bleibt die Uhr stehen, dann ist die Leistungsfähigkeit des Gewichtes vorläufig erschöpft. Seine Schwere ist nicht verloren oder vermindert; es wird nach wie vor in gleichem Maasse von der Erde angezogen; aber die Fähigkeit dieser Schwere, Bewegungen des Uhrwerks hervorzubringen, ist verloren gegangen. Sie kann das Gewicht jetzt nur noch in dem tiefsten Punkte seiner Bahn ruhig festhalten; sie kann es nicht weiter in Bewegung setzen.

Wir können aber die Uhr aufziehen durch die Kraft unseres Armes, wobei das Gewicht wieder emporgehoben wird. So wie das geschehen ist, hat es seine frühere Leistungsfähigkeit wieder erlangt, und kann die Uhr wieder in Bewegung erhalten.

Wir lernen daraus, dass ein gehobenes Gewicht eine Triebkraft besitzt; dass es aber, wenn diese Triebkraft wirken soll, nothwendig sinken muss; dass durch das Herabsinken die Triebkraft erschöpft wird; dass aber durch Anwendung einer anderen fremden Triebkraft, nämlich der unseres Armes, die Wirksamkeit wieder hergestellt werden kann.

Die Arbeit, welche das Gewicht leistet, um die Uhr in Gang zu halten, ist freilich nicht gross. Es hat die kleinen Widerstände welche die Reibung der Axen und Zähne, sowie der Luftwiderstand der Bewegung der Räder entgegensetzen, fortdauernd zu überwinden und es hat die Kraft für die kleinen Stösse und Schallerschütterungen herzugeben, welche das Pendel bei jeder Schwingung hervorbringt. Nimmt man das Gewicht von der Uhr ab, so schwankt allerdings das Pendel noch eine Weile hin und her, ehe es zur Ruhe kommt, aber seine Bewegung wird schwächer und schwächer und hört endlich ganz auf, indem sie durch die genannten kleinen Hindernisse allmählich aufgezehrt wird. Eben deshalb ist eine, wenn auch kleine, aber fortdauernd wirkende Triebkraft nöthig, um die Uhr in Gang zu erhalten. Eine solche giebt das Gewicht.

Uebrigens ergiebt sich an diesem Beispiel schon leicht ein Maass für die Grösse der Arbeit. Nehmen wir an, eine Uhr würde getrieben durch ein Gewicht von einem Pfund, welches in 24 Stunden fünf Fuss herabsinkt. Hängen Sie zehn solche Uhren

von gleicher Construction auf, jede mit einem Pfundgewicht, so werden diese zehn Uhren 24 Stunden lang getrieben; also, da jede dieselben Widerstände in gleicher Zeit zu überwinden hat, so wird die zehnfache Arbeit verrichtet, indem zehn Pfunde um fünf Fuss herabsinken. Wir schliessen daraus, dass bei gleichbleibender Fallhöhe die Arbeit im Verhältniss des Gewichtes wachse.

Wenn wir nun aber den Faden so viel länger machen, dass das Gewicht zehn Fuss abläuft, so wird die Uhr nicht einen, sondern zwei Tage gehen; bei doppelter Fallhöhe wird das Gewicht am zweiten Tage noch einmal dieselben Widerstände überwinden, wie am ersten Tage, es wird also im Ganzen eine doppelt so grosse Arbeit leisten, als wenn es nur fünf Fuss fallen kann. Bei demselben Gewichte wächst also die Arbeit auch wie die Fallhöhe. Daraus folgt, dass wir das Product aus der Grösse des Gewichtes und der Höhe, durch welche es herabsinken kann, zunächst in dem besprochenen Falle, als Maass der Arbeit betrachten müssen. Die Anwendung dieses Maasses ist aber nicht auf den einzelnen Fall beschränkt, sondern das allgemeine von den Technikern angewendete Maass, wodurch man Arbeitsgrössen misst, ist ein Fusspfund, d. h. die Arbeit, welche ein Pfund, gehoben um einen Fuss, hervorbringen kann [1]).

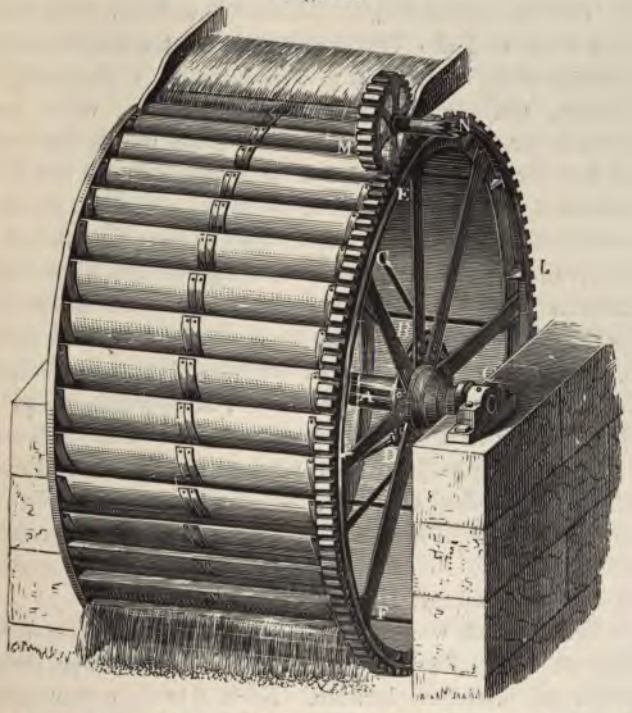
Wir können dieses Maass der Arbeitskraft ganz allgemein auf alle Arten von Maschinen anwenden, weil wir jede Maschine durch ein hinreichendes Gewicht, das eine Rolle bewegt, in Bewegung zu setzen vermögen. Somit können wir die Grösse jeder Triebkraft für eine jede beliebige Maschine immer durch die Grösse und die Fallhöhe eines solchen Gewichtes ausdrücken, wie es nöthig sein würde, um die Maschine bei ihren Verrichtungen in Bewegung zu erhalten, bis sie eine gewisse Arbeit geleistet hat. Eben deshalb ist die Messung der Arbeitskräfte nach Fusspfunden allgemein anwendbar. Die Anwendung eines Gewichtes als Triebkraft wäre freilich nicht praktisch vortheilhaft in denjenigen Fällen, wo wir gezwungen wären, dasselbe durch die eigene Kraft unseres Armes emporzuheben; dann würden wir einfacher die Maschine selbst unmittelbar mit dem Arm in Bewegung setzen. Bei der Uhr wenden wir ein Gewicht an, um nicht selbst den

[1]) Das oben genannte ist das technische Maass der Arbeit; um es in das wissenschaftliche Maass zu verwandeln, müssen wir es noch mit der Intensität der Schwere multipliciren.

ganzen Tag am Räderwerk zu stehen, wie wir dies thun müssten, wenn wir sie direct bewegen wollten. Indem wir die Uhr aufziehen, speichern wir einen Vorrath von Arbeitskraft in ihr auf, der für die Ausgabe in den nächsten 24 Stunden genügt.

Etwas anderes ist es, wenn die Natur selbst die Gewichte in die Höhe schafft, die für uns arbeiten. Sie thut das nicht mit festen Körpern, wenigstens nicht so regelmässig, dass wir sie be-

Fig. 13.



nutzen könnten, wohl aber in reichlichem Maasse mit dem Wasser, welches durch meteorologische Prozesse auf die Höhe der Berge geschafft wird, und diesen wieder entströmt. Die Schwere des Wassers benutzen wir als Triebkraft in den Wassermühlen; am directesten bei den sogenannten oberschlächtigen Wasserrädern, wie in Fig. 13 ein solches dargestellt ist. Diese tragen längs ihres Umfangs eine Reihe von Kästen, die als Wassergefässe dienen und die mit ihrer Mündung auf der dem Beschauer zugekehrten Seite des Rades nach oben, auf der anderen, abgewendeten Seite nach unten stehen. Das Wasser fliesst von oben bei *M* in die Kästen der vorderen Seite des Rades ein, bei *F*, wo die Mündung

der Kästen anfängt, sich nach unten zu neigen, fliesst es aus. Die Kästen des Radumfangs sind also gefüllt an der dem Beschauer zugekehrten, leer an der entgegengesetzten Seite; die ersteren sind beschwert durch das darin enthaltene Wasser, die letzteren nicht. Das Gewicht des Wassers wirkt also fortdauernd nur auf die eine Seite des Rades, zieht diese herab, und setzt dadurch das Rad in Drehung; die andere Seite des Rades leistet keinen Widerstand, weil sie kein Wasser enthält. Es ist auch hier das Gewicht des herabsinkenden Wassers, welches die Mühle in Bewegung setzt und die Triebkraft liefert. Es leuchtet ein, dass das Wassergewicht, welches die Mühle treibt, nothwendig herabsinken muss, um sie zu treiben, und dass es, wenn es unten angekommen ist, von seiner Schwere zwar nicht das Geringste verloren hat, dessen ungeachtet aber nicht mehr in der Lage ist, das Wasserrad treiben zu können, wenn es nicht durch die Kraft des menschlichen Armes oder durch eine andere Naturkraft wieder in den oberen Theil seines Laufes hinaufgeschafft wird. Kann es vom unteren Theile des Mühlgrabens zu tieferen Stellen des Terrains hinabfliessen, so kann es auch noch weiter gebraucht werden, um andere Mühlräder zu treiben. Ist es endlich an der tiefsten Stelle seines Laufes, im Meere, angekommen, so ist der letzte Rest seiner Arbeitskraft erschöpft, den es der Schwere, das heisst der Anziehung der Erde, verdankt. Es kann durch sein Gewicht nicht wieder arbeiten, ehe es nicht wieder zur Höhe hinaufgeschafft wird. Da dies wirklich durch die meteorologischen Prozesse geschieht, so bemerken Sie, dass wir auch diese als Quellen von Arbeitskraft zu betrachten haben.

Die Wasserkraft war die erste unorganische Kraft, welche die Menschen an Stelle der eigenen oder der Kraft ihrer Hausthiere zur Arbeit zu benutzen lernten. Nach Strabo war sie schon dem wegen seiner Naturkenntnisse berühmten König Mithridates von Pontus bekannt, neben dessen Palast sich ein Wasserrad befunden haben soll. Bei den Römern wurde ihre Anwendung in der Zeit der ersten Kaiser eingeführt. Noch jetzt finden wir Wassermühlen in allen Gebirgsthälern und überall, wo es schnellfliessende und regelmässig gefüllte Bäche und Ströme giebt. Wasserkraft wird zu allen Zwecken gebraucht, welche durch Maschinen zu erreichen sind, und für welche sie den hinreichenden Vorrath von Arbeitskraft liefern kann. Sie treibt Mühlen, Sägewerke, Hammer- und Stampfwerke, Spinnmaschinen, Webestühle etc. Sie ist die billigste von allen Triebkräften,

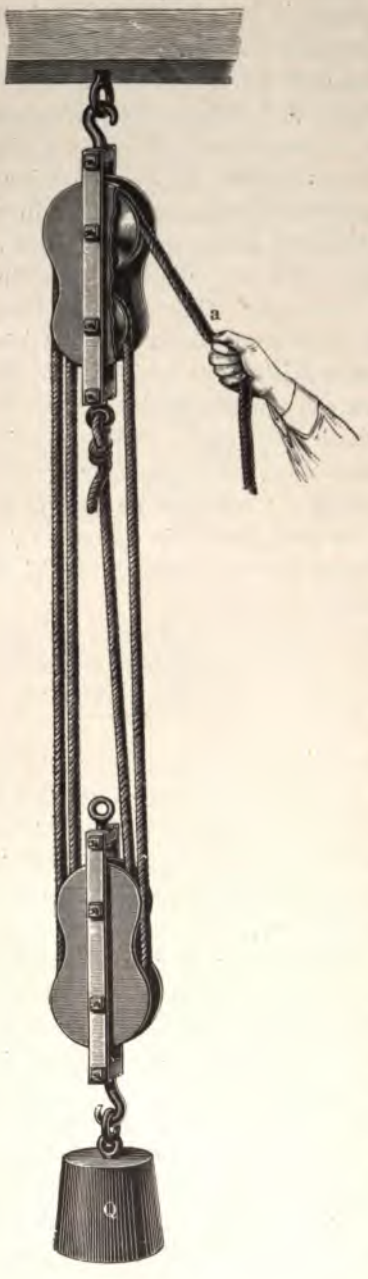
fliesst fortdauernd aus dem unerschöpflichen Vorrathe der Natur dem Menschen von selbst zu; aber sie ist an den Ort geheftet, und ist nur in bergigen Gegenden reichlich vorhanden.

Ehe wir nun zur Besprechung anderer Triebkräfte übergehen, muss ich einem Zweifel begegnen, der sich leicht aufdrängen könnte. Wir wissen Alle, dass es mancherlei Maschinen giebt, wie Flaschenzüge, Hebel, Krahne, mit deren Hülfe man schwere Lasten unter verhältnissmässig geringer Kraftanstrengung in die Höhe schaffen kann. Wir Alle sind oft Zeuge gewesen, dass ein einzelner Arbeiter einen schweren Stein auf ein hohes Gebäude hinaufwand, welchen direct zu heben er völlig ausser Stande gewesen wäre; ebenso, dass ein oder zwei Mann mittelst eines Krahnes die grössten und schwersten Kisten aus Schiffen zum Quai hinaufschafften. Wenn man nun ein grosses und schweres Gewicht zum Treiben einer Maschine anwendet, sollte es nicht möglich sein, dieses mittelst eines Flaschenzuges oder Krahnes mit leichter Mühe wieder in die Höhe zu schaffen, so dass es von Neuem als Triebkraft dienen könnte und damit eine grosse Triebkraft zu gewinnen, ohne eine entsprechende Anstrengung bei der Hebung des Gewichtes aufzuwenden?

Darauf ist zu antworten, dass in demselben Maasse, wie diese Instrumente die Anstrengung für den Augenblick erleichtern, sie diese auch verlängern, so dass mit ihrer Hülfe schliesslich an Arbeitskraft nichts gewonnen wird.

Nehmen wir an, vier Arbeiter hätten mittelst eines Seils, das über eine einfache Rolle geht, eine Last von vier Centnern zu heben. Jedes Mal, wenn sie den Strick um vier Fuss herabziehen, steigt auch die Last um vier Fuss. Nun hänge man zum Vergleich dieselbe Last an einen Flaschenzug von vier Rollen (s. Fig. 14, a. f. S.). Jetzt wird ein Arbeiter im Stande sein, mit derselben Kraftanstrengung, die vorher jeder Einzelne der vier Arbeiter aufwenden musste, die Last in die Höhe zu schaffen. Aber wenn er das Seil am Flaschenzuge um vier Fuss herabzieht, so steigt die Last nur um einen Fuss, weil die Länge, um die er das Seil bei *a* herabzieht, sich in dem Flaschenzuge auf vier Seile gleichmässig vertheilen muss, so dass jedes Seil sich nur um ein Viertel jener Länge verkürzt. Um die Last zu derselben Höhe zu schaffen, muss also der Einzelne nothwendig viermal so lange arbeiten, als die vier Männer zusammen. Der Gesammtaufwand von Arbeit aber ist gleich, ob vier Arbeiter eine Viertelstunde, oder ob ein Arbeiter eine Stunde arbeitet.

Fig. 14.



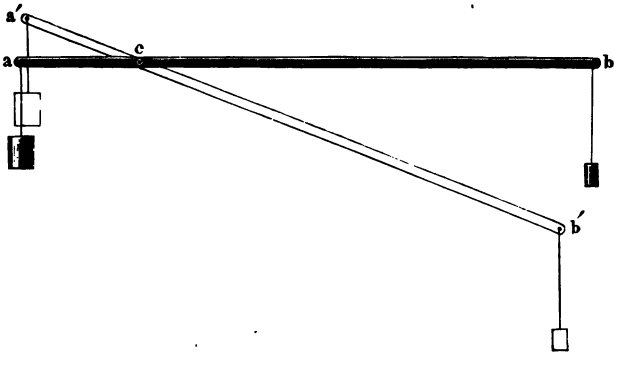
Um hierbei statt der menschlichen Arbeit die Arbeit eines Gewichtes einzuführen, hängen wir unten an den Flaschenzug die Last von 400 Pfund und an das Seil bei *a*, wo sonst die Arbeiter ziehen, ein Gewicht von 100 Pfd. Dann ist der Flaschenzug im Gleichgewicht, und kann ohne eine in Betracht kommende Anstrengung des Armes in Bewegung gesetzt werden. Das Gewicht von 100 Pfund sinkt, das von 400 Pfund steigt. Wir haben also, ohne in Betracht kommenden sonstigen Kraftaufwand, das schwere Gewicht gehoben, indem wir das leichte herabsinken liessen. Aber achten Sie auch darauf, dass das leichte Gewicht um eine viermal so lange Strecke herabstieg, als das schwere in die Höhe ging. Hundert Pfund mal vier Fuss Fallhöhe ist ebenso gut gleich vierhundert Fusspfund, als vierhundert Pfund mal ein Fuss Höhe.

Aehnlich wie die Flaschenzüge wirken die Hebel in allen ihren verschiedenen Abänderungen. Es sei *ab* (Fig. 15) ein einfacher doppelarmiger Hebel, der bei *c* unterstützt ist, und dessen Arm *cb* viermal so lang ist als der andere *ac*. Hängen wir an das Ende *b* ein Gewicht von einem Pfunde, an das Ende *a* ein solches von vier Pfunden, so ist der Hebel

im Gleichgewicht, und der leiseste Fingerdruck genügt, um ihn ohne wesentliche Kraftanstrengung in die Lage $a'b'$ zu bringen, wo das schwere Gewicht von vier Pfund gehoben, und dafür das leichtere von einem Pfund gesunken ist. Aber bemerken Sie wohl, auch hier ist dadurch keine Arbeit gewonnen; denn wenn das schwere Gewicht um einen Zoll gestiegen ist, ist das leichtere um vier Zoll gesunken, und vier Pfund mal ein Zoll ist als Arbeit äquivalent dem Product von einem Pfund mal vier Zoll.

Die meisten anderen festen Maschinentheile lassen sich als veränderte und zusammengesetzte Hebel ansehen. Ein Zahnrad ist z. B. wie eine Reihe von Hebeln, deren Enden durch die

Fig. 15.

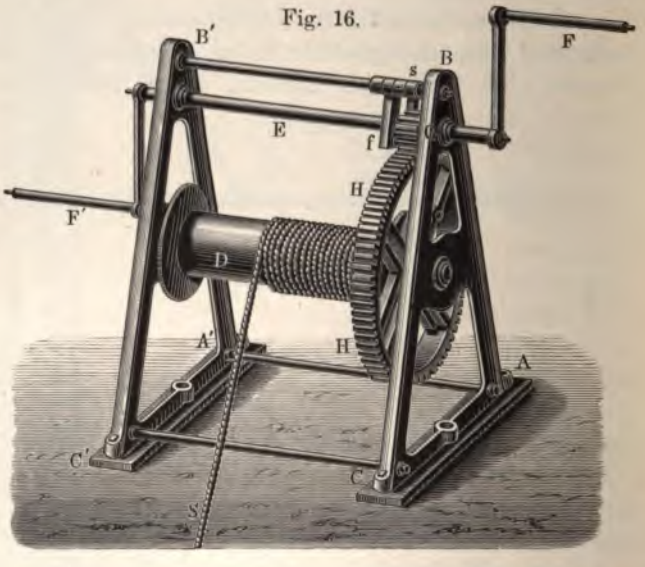


einzelnen Zähne dargestellt werden und von denen einer nach dem anderen in Wirksamkeit gesetzt wird, in dem Maasse, als der betreffende Zahn das benachbarte Getriebe fasst oder von ihm gefasst wird. Nehmen Sie z. B. die in Fig. 16 (a. f. S.) abgebildete Winde. Der Trieb, der an der Axe der Kurbel sitzt, habe zwölf Zähne, das Zahnrad HH aber 72 Zähne, also sechsmal so viel als der Trieb. Man wird die Kurbel sechsmal umdrehen müssen, ehe das Zahnrad H und die daran befestigte Welle D eine Umdrehung gemacht haben, und ehe der Strick, der die Last hebt, um eine Strecke, die dem Umfang der Welle gleich ist, sich gehoben hat. So braucht der Arbeiter sechsmal so viel Zeit, aber auch nur den sechsten Theil von derjenigen Kraft, die er anwenden müsste, wenn die Kurbel direct an der Axe der Welle D angebracht wäre. Bei allen diesen Maschinen und Maschinentheilen finden wir es immer wieder bestätigt, dass in dem Maasse, als die Geschwindigkeit der Bewegung steigt,

ihre Kraft abnimmt, und dass, wenn die Kraft steigt, die Geschwindigkeit abnimmt, die Grösse der Arbeit dadurch aber niemals vermehrt wird.

An den vorher beschriebenen oberschlächtigen Mühlrädern wirkt das Wasser durch sein Gewicht. Wir haben noch eine andere Form von Mühlrädern, die sogenannten unterschlächtigen, wie Fig. 17 ein solches darstellt, bei denen das Wasser nur durch seinen Stoss wirkt. Man braucht sie da, wo das

Fig. 16.



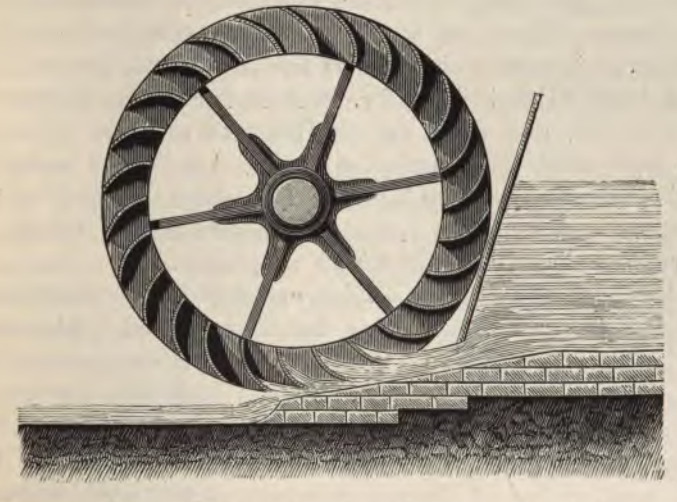
Wasser nicht aus genügender Höhe herabkommt, um auf den oberen Theil des Rades zu fliessen. Unterschlächtige Räder lässt man mit dem unteren Theil in das strömende Wasser eintauchen, das gegen ihre Schaufeln stösst und sie mitnimmt. Solche Räder werden auch in schnell strömenden Flüssen mit kaum merkbarem Gefälle, z. B. im Rheine, angewendet. In der unmittelbaren Nachbarschaft eines solchen Rades braucht das Wasser nicht nothwendig einen erheblichen Fall zu haben, wenn es nur mit einer erheblichen Geschwindigkeit dort ankommt. Hier ist es die Geschwindigkeit des Wassers, welche wirkt. Sie bringt den Stoss desselben gegen die Radschaufeln hervor und liefert die Arbeitskraft.

Ein anderes Beispiel für eine solche Wirkung der Geschwindigkeit ist die Windmühle, wie man sie in den grossen Ebenen

Norddeutschlands und Hollands anwendet, um den Mangel fallenden Wassers zu ersetzen. Da ist es die bewegte Luft, der Wind, welcher die Flügel der Mühlen umtreibt. Ruhende Luft würde eine Windmühle ebenso wenig treiben können, als ruhendes Wasser eine Wassermühle treibt. In der Geschwindigkeit der bewegten Massen liegt hier die Triebkraft.

Eine in der Hand ruhende Büchsenkugel ist das harmloseste Ding von der Welt; durch ihre Schwere kann sie keine grosse

Fig. 17.



Wirkung ausüben, während sie, abgeschossen und mit einer grossen Geschwindigkeit begabt, gewaltsam alle Schranken durchbricht.

Wenn ich den Kopf eines Hammers sanft auf einen Nagel auflege, reicht seine geringe Schwere oder der Druck meines Armes auf den Nagel durchaus nicht hin, denselben in das Holz zu pressen. Schwinge ich jedoch den Hammer und lasse ihn mit grosser Geschwindigkeit niederfallen, so bekommt er eine neue Kraft, die viel grössere Hindernisse überwältigen kann.

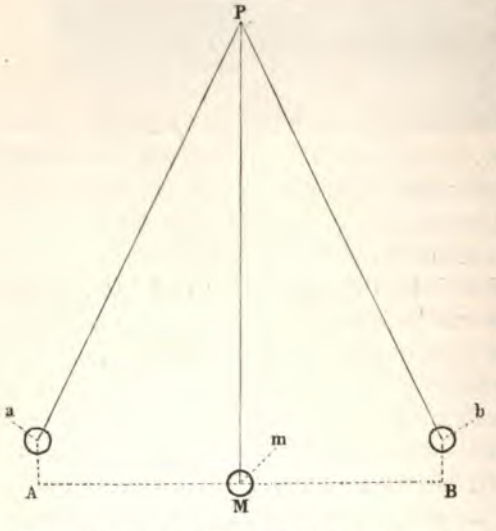
Diese Beispiele lehren uns die Geschwindigkeit einer bewegten Masse als Triebkraft kennen. In der Mechanik heisst die Geschwindigkeit, insofern sie Triebkraft ist und Arbeit verrichten kann, lebendige Kraft. Der Name ist nicht glücklich gewählt; er verleitet zu leicht, an die Kraft lebender Wesen zu denken. Auch hier werden Sie an dem Beispiele des Hammers und der Büchsenkugel erkennen, dass die Geschwindigkeit verloren geht, indem sie als arbeitende Kraft auftritt. Bei der Wassermühle

oder der Windmühle gehört freilich eine aufmerksamere Untersuchung der bewegten Wasser- und Luftmassen dazu, um die Ueberzeugung zu gewinnen, dass durch die Arbeit, die sie verrichtet haben, ein Theil ihrer Geschwindigkeit verloren gegangen ist.

Am einfachsten und übersichtlichsten ist das Verhältniss der Geschwindigkeit zur Arbeitskraft an einem einfachen Pendel, wie wir es aus jedem Gewichte, das wir an einen Faden hängen, herstellen können. Es sei M, Fig. 18, ein solches Gewicht von kugeliger Form; AB sei eine durch den Mittelpunkt der kugeligen Masse gezogene Horizontallinie; P der obere Befestigungspunkt des Fadens. Wenn ich nun das Gewicht M seitwärts gegen A hinziehe, so bewegt es sich in dem Kreisbogen Ma, dessen Ende a etwas höher liegt als der Punkt A in der Horizontallinie; das Gewicht wird also dabei um die Höhe Aa gehoben. Eben deshalb muss auch mein Arm eine gewisse Arbeitskraft aufwenden, um das Gewicht nach a zu bringen. Die Schwere widersteht dieser Bewegung und sucht das Gewicht nach dem tiefsten Punkte, den es erreichen kann, nach M zurück zu treiben.

Lasse ich nun das Gewicht los, nachdem ich es bis a gebracht habe, so folgt es diesem Zuge der Schwere und geht nach M zurück, kommt in M mit einer gewissen Geschwindigkeit an, bleibt aber nun nicht mehr ruhig in M hängen, wie es vorher that, sondern schwingt über M hinaus nach b hin und hält hier endlich in seiner Bewegung ein, nachdem es nach der Seite von B hin einen ebenso grossen Bogen durchlaufen hat, wie vorher nach der Seite von A, und nachdem es um die Strecke Bb über die Horizontallinie gestiegen ist, welche der Höhe Aa, auf welche der Zug meines Armes es vorher gehoben hatte, gleich ist. In b kehrt dann das Pendel um, schwingt auf demselben Wege zurück durch M

Fig. 18.



nach a und so fort, bis durch Luftwiderstand und Reibung seine Schwingungen allmählich vermindert, endlich vernichtet werden.

Sie sehen hierbei, dass der Grund, warum das Gewicht, wenn es von a kommend durch M hindurch geht, hier nun nicht ruhen bleibt, sondern, der Wirkung der Schwere entgegen, nach b emporsteigt, nur in seiner Geschwindigkeit zu suchen ist. Die Geschwindigkeit, welche es erlangt hat, indem es von der Höhe Aa sich herabbewegte, ist fähig, es zur gleichen Höhe Bb wieder empor zu heben. Die Geschwindigkeit der bewegten Masse M ist also fähig, diese Masse zu heben, d. h. im mechanischen Sinne: Arbeit zu verrichten. Das würde auch der Fall sein, wenn wir dem aufgehängten Gewichte eine solche Geschwindigkeit durch einen Stoss mitgetheilt hätten.

Daraus ergiebt sich denn auch weiter, wie wir die Arbeitskraft der Geschwindigkeit oder, was dasselbe bedeutet, die lebendige Kraft der bewegten Masse zu messen haben; sie ist gleichzusetzen der Arbeit, in Fusspfunden ausgedrückt, welche dieselbe Masse leisten kann, nachdem ihre Geschwindigkeit benutzt worden ist, um sie unter möglichst günstigen Umständen zu einer möglichst grossen Höhe zu treiben[1]). Dabei kommt es nicht an auf die Richtung der vorhandenen Geschwindigkeit; denn, wenn wir ein Gewicht an einem Faden herumschwingen lassen, können wir auch eine abwärts gerichtete Bewegung in eine aufwärts gerichtete übergehen lassen.

Die Bewegung des Pendels zeigt uns sehr deutlich, wie die beiden bisher betrachteten Formen der Arbeitskraft, die eines gehobenen Gewichtes und die einer bewegten Masse, in einander übergehen können. In den Punkten a und b, Fig. 18, hat die Masse keine Geschwindigkeit, ist aber gehoben um die Strecke Aa oder Bb; in dem Punkte m ist sie so weit wie möglich gefallen, hat aber Geschwindigkeit. Indem das Gewicht von a nach m geht, wird die Arbeit des gehobenen Gewichtes in lebendige Kraft verwandelt; indem das Gewicht weiter von m nach b geht, wird die lebendige Kraft in die Arbeit eines gehobenen Gewichtes

---

[1]) Das Maass der lebendigen Kraft im Sinne der theoretischen Mechanik ist das halbe Product aus dem Gewichte mit dem Quadrate der Geschwindigkeit. Um es auf das technische Maass der Arbeit zu reduciren, müssen wir es noch durch die Intensität der Schwere (Fallgeschwindigkeit nach Ablauf der ersten Secunde des freien Falles) dividiren.

verwandelt. Die Arbeit, welche unser Arm dem Pendel ursprünglich mitgetheilt hat, geht also bei seinen Schwingungen nicht verloren, so lange wir von dem Einflusse des Luftwiderstandes und der Reibung absehen dürfen; sie vermehrt sich auch nicht, aber sie wechselt fortdauernd die Form ihrer Erscheinung.

Gehen wir nun über zu anderen mechanischen Kräften, denen der elastischen Körper. Statt der Gewichte, welche unsere Wanduhren treiben, finden wir in den Stutzuhren und Taschenuhren stählerne Federn, welche beim Aufziehen der Uhr gespannt werden, und, indem sie das Uhrwerk 24 Stunden lang bewegen, sich wieder entspannen. Um die Feder zu spannen, verbrauchen wir Kraft unseres Armes; dieser muss beim Aufziehen die widerstrebende elastische Kraft der Feder, wie bei der Gewichtsuhr die widerstrebende Schwere des Gewichtes, überwinden. Die gespannte Feder aber ist fähig, Arbeit zu verrichten; sie giebt diese ihr mitgetheilte Fähigkeit allmählich wieder aus, indem sie das Werk treibt.

Wenn ich eine Armbrust spanne und sie nachher abschiesse, setzt die gespannte Feder den Bolzen in Bewegung und ertheilt ihm Arbeitskraft in Gestalt von Geschwindigkeit. Um den Bogen zu spannen, muss mein Arm etliche Secunden arbeiten; diese Arbeit wird ausgegeben und auf den Bolzen übertragen in dem Moment des Abschiessens. Bei der Armbrust wird also die ganze Arbeit, welche mein Arm ihr im Verlaufe des Spannens mitgetheilt hat, auf einen ausserordentlich kurzen Zeitpunkt zusammengedrängt; bei der Uhr dagegen wird sie über einen oder mehrere Tage ausgebreitet. In beiden Fällen wird keine Arbeit gewonnen, die nicht mein Arm dem Instrumente ursprünglich mitgetheilt hätte; sie wird nur zweckmässiger verausgabt.

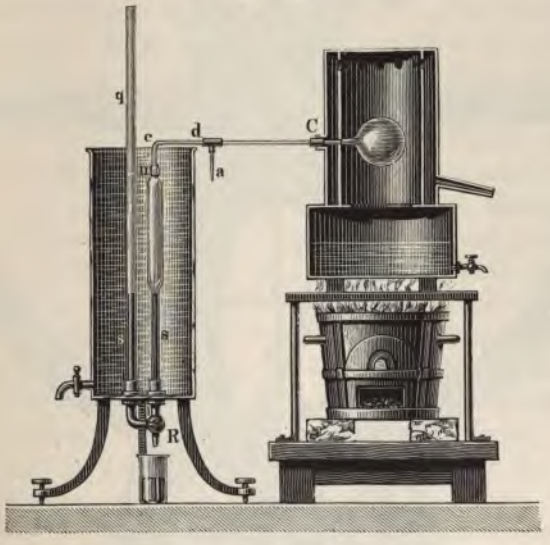
Etwas anderes ist es, wenn ich durch irgend einen anderen Naturprozess bewirken kann, dass ein elastischer Körper in Spannung versetzt wird, ohne dass ich meinen Arm dabei anzustrengen brauche. Das ist in der That möglich, und zwar bieten die Gasarten hierfür die günstigsten Gelegenheiten.

Wenn ich z. B. ein mit Pulver geladenes Gewehr abschiess
verwandelt sich der grösste Theil von der Masse des verbrenne
Pulvers in Gase von sehr hoher Temperatur, welche sich mä
auszudehnen streben, und in dem engen Raume, wo sie entst
nur durch den heftigsten Druck zusammen gehalten werden kö
Indem sie sich gewaltsam ausdehnen, treiben sie die Kuge

sich her und theilen ihr eine grosse Geschwindigkeit mit, die wir schon als eine Form der Arbeitskraft kennen.

In diesem Falle habe ich also Arbeit gewonnen, die mein Arm nicht geleistet hat; es ist aber etwas anderes dabei verloren gegangen, nämlich das Schiesspulver, dessen Bestandtheile in andere chemische Verbindungen übergegangen sind, aus denen sie nicht so ohne Weiteres in ihren früheren Zustand zurückgeführt werden können. Hier ist also ein chemischer Prozess

Fig. 19.

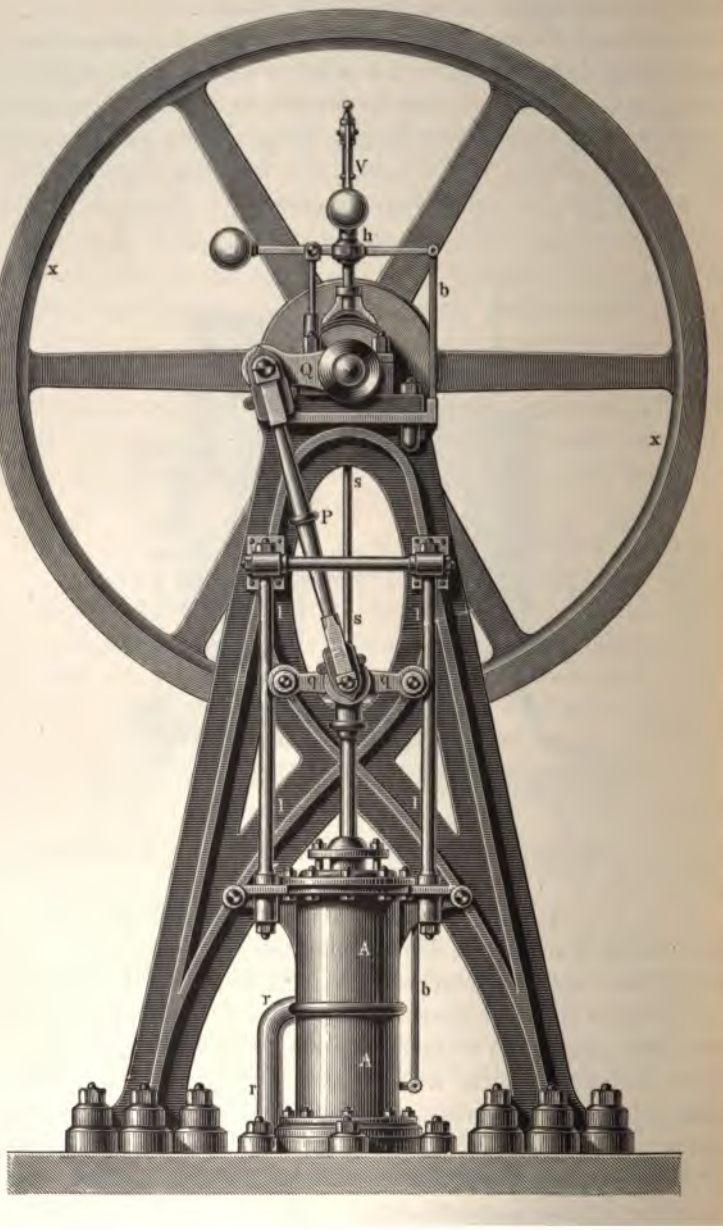


vor sich gegangen, unter dessen Einfluss wir Arbeitskraft gewonnen haben.

In viel grösserem Maasstabe werden elastische Kräfte in Gasen durch die Wärme hervorgebracht.

Nehmen wir als einfacheres Beispiel atmosphärische Luft. In Fig. 19 ist ein Apparat dargestellt, wie ihn Regnault zur Messung der Ausdehnungskraft erwärmter Gase anwendete. Kommt es auf genaue Messungen nicht an, so kann derselbe Apparat viel einfacher eingerichtet werden. Bei C ist ein mit trockener Luft gefüllter Glasballon in das Blechgefäss eingeschoben, welches durch die Dämpfe des darin siedenden Wassers erwärmt werden soll. Der Ballon communizirt mit dem U-förmigen, mit einer Flüssigkeit gefüllten Rohre $S\,s$, dessen Schenkel bei passender Stellung des Hahns R mit einander communiziren. Ist die

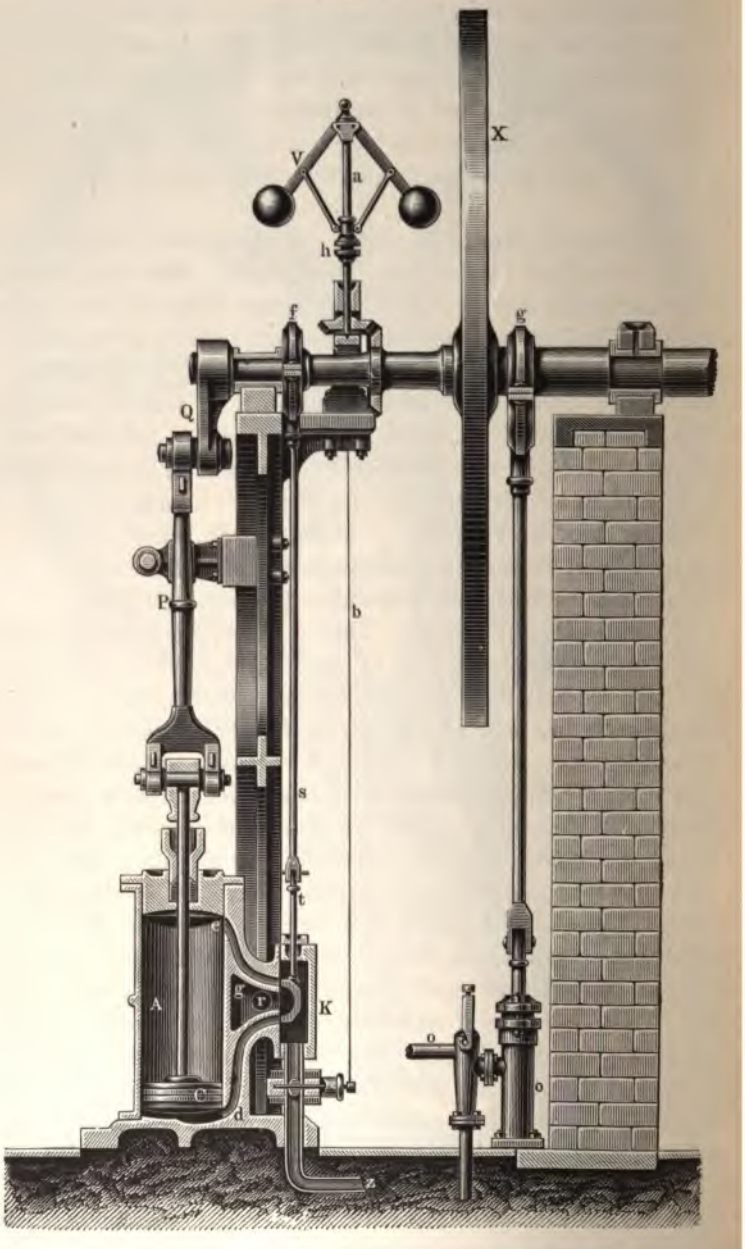
Fig. 20.



Flüssigkeit im Gleichgewicht im Rohre *Ss*, wenn der Ballon kalt ist, so steigt sie im Schenkel *s*, und fliesst schliesslich oben aus, wenn der Ballon erwärmt wird. Stellt man im Gegentheil bei erhitztem Ballon das Gleichgewicht der Flüssigkeit wieder her, dadurch, dass man sie bei *R* theilweise ausfliessen lässt, so wird sie beim Erkalten des Ballons gegen *n* hin angesogen. In beiden Fällen wird also Flüssigkeit gehoben und dadurch Arbeit verrichtet.

Im grösseren Maasstab sehen Sie denselben Versuch fortdauernd wiederholt in den Dampfmaschinen. Nur wird hier, um eine fortdauernde Entwickelung gepresster Gase zu unterhalten, die Luft im Ballon, welche bald ein Maximum ihrer Ausdehnung erreichen würde, im Kessel der Dampfmaschine durch Wasser ersetzt, welches durch die Wärme allmählich in Dampf verwandelt wird. Wasserdampf ist aber, so lange er als solcher besteht, ein elastisches Gas, welches sich gerade wie die atmosphärische Luft auszudehnen strebt. Und statt der Flüssigkeitssäule, die in unserem letzten Versuche gehoben wurde, lässt man in der Maschine einen festen Stempel in die Höhe treiben, der seine Bewegung auf andere feste Maschinentheile übertragen kann. In Fig. 20 sind die arbeitenden Theile einer Hochdruckmaschine in der Vorderansicht, in Fig. 21 (a. f. S.) im Querschnitt dargestellt. Der Kessel, in dem der Dampf erzeugt wird, ist nicht mitgezeichnet; letzterer strömt durch das Rohr *zz*, Fig. 21, dem Cylinder *AA* zu, worin sich ein dicht schliessender Kolben *C* bewegt. Die Theile, welche sich zwischen der Röhre *zz* und dem Cylinder *AA* einschalten, nämlich das Schieberventil im Kasten *KK* und die beiden Röhren *d* und *e*, dienen dazu, den Dampf, je nach der Stellung des Ventils, bald durch *d* in den unteren Theil des Cylinders *A* unter den Kolben, bald in den oberen Theil über den Kolben zu leiten, während gleichzeitig der Dampf aus der anderen Hälfte des Cylinders freien Ausgang nach aussen erhält. Tritt der Dampf unter den Kolben, so treibt er diesen in die Höhe; ist der Kolben oben angekommen, so wechselt die Stellung des Ventils in *KK*; der Dampf tritt nun über den Kolben, und treibt diesen wieder herab. Die Kolbenstange wirkt mittelst der an ihr eingelenkten Stange *P* auf die Kurbel *Q* des Schwungrades *X* und setzt dieses in Umdrehung. Die Bewegung des Rades bewirkt wieder mittelst des Gestänges *s*, dass das Ventil immer zur rechten Zeit umgestellt wird. Auf diese mechanischen Einrichtungen können wir nicht näher eingehen,

Fig. 21.



so sinnreich sie auch ausgebildet sind. Uns interessirt hier nur die Art und Weise, wie die Wärme elastisch gepressten Dampf hervorbringt, und wie dieser Dampf in seinem Streben, sich auszudehnen, gezwungen wird, die festen Theile der Maschine zu bewegen, und uns Arbeitskraft zu liefern.

Wir wissen, welcher gewaltigen und mannigfaltigen Leistungen die Dampfmaschinen fähig sind; mit ihnen hat die grosse Entwickelung der Industrie, welche unser Jahrhundert vor allen früheren auszeichnet, erst begonnen. Ihr wesentlicher Vorzug im Vergleich mit den früher bekannten Triebkräften ist, dass sie nicht an den Ort gebunden sind. Der Kohlenvorrath und die geringe Quantität Wasser, welche die Quellen ihrer Triebkraft sind, lassen sich leicht überall hinschaffen; ja wir können eben deshalb die Dampfmaschinen selbst beweglich machen, wie dies in den Dampfschiffen und Locomotiven geschieht. Durch diese Maschinen ist es möglich, an jeder Stelle der Oberfläche der Erde, wie in den tiefen Schachten der Bergwerke und auf der Mitte des Meeres, Arbeitskraft in fast unbeschränktem Maasse zu entwickeln; während die Wasser- und Windmühlen fest an bestimmte Orte der Oberfläche des Landes gebannt sind.

Wir sehen also: Wärme kann mechanische Arbeitskraft erzeugen. In den bisher besprochenen Fällen haben wir gefunden, dass das Quantum von Arbeitskraft, was durch ein gewisses Maass eines physikalischen Vorganges erzeugt werden kann, immer ein bestimmt begrenztes ist, und dass die weitere Arbeitsfähigkeit der Naturkräfte durch die geschehene Leistung verringert oder erschöpft wird. Wie verhält es sich in dieser Beziehung mit der Wärme?

Diese Frage war von entscheidender Wichtigkeit bei dem Bestreben, das Gesetz von der Erhaltung der Kraft auf alle Naturprozesse auszudehnen. In ihrer Beantwortung lag der hauptsächlichste Unterschied zwischen der älteren und neueren Ansicht der hierher gehörigen Verhältnisse; daher auch viele Physiker die Naturanschauung, die dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft entspricht, geradezu mit dem Namen der mechanischen Wärmetheorie bezeichnet haben.

Die ältere Ansicht von der Natur der Wärme war, dass sie ein Stoff sei; zwar sehr fein und unwägbar, aber unzerstörbar und unveränderlich in ihrer Quantität, welches letztere bekanntlich die wesentliche Grundeigenschaft aller Materie ist. In der That zeigt sich bei einer grossen Zahl von Naturprozessen die

Quantität der durch das Thermometer nachweisbaren Wärme unveränderlich.

Zwar kann sie wandern durch Leitung und Strahlung von wärmeren zu kälteren Körpern; die Wärmemenge aber, welche jene verlieren, erscheint in diesen, durch das Thermometer nachweisbar, wieder. Auch fand man bei den Naturkörpern mancherlei Vorgänge, namentlich die Uebergänge aus dem festen in den flüssigen oder gasigen Zustand, bei denen Wärme wenigstens für das Thermometer verschwand; führte man aber den gasigen Körper wieder in den flüssigen, den flüssigen in den festen Zustand zurück, so kam genau die gleiche Wärmemenge wieder zum Vorschein, die vorher verloren schien. Man nannte dies ein Latentwerden der Wärme. Flüssiges Wasser unterscheidet sich nach dieser Ansicht vom Eise dadurch, dass es eine gewisse Quantität gebundenen Wärmestoffes enthält, der eben, weil er fest gebunden ist, nicht auf das Thermometer übergehen und nicht von diesem angezeigt werden kann. Wasserdampf enthält danach eine noch grössere Menge von gebundenem Wärmestoff. Lassen wir aber den Dampf sich niederschlagen, das tropfbare Wasser wieder zu Eis gefrieren, so erhalten wir genau dieselbe Wärmemenge frei zurück, die bei der Schmelzung des Eises und der Verdampfung des Wassers latent geworden war.

Endlich kann Wärme hervorgebracht werden oder verschwinden bei chemischen Prozessen. Aber auch hier liess sich die Annahme durchführen, dass die verschiedenen chemischen Elemente und Verbindungen gewisse constante Mengen latenten Wärmestoffes enthalten, welcher bei einer Aenderung ihrer Zusammensetzung bald austritt, bald von aussen her zugeführt werden muss; und genaue Versuche zeigten, dass die Menge Wärme, welche sich bei einem chemischen Prozesse entwickelt — z. B. bei der Verbrennung von einem Pfunde reiner Kohle zu Kohlensäure — durchaus constant ist, möge nun die Verbrennung langsam oder schnell, auf einmal oder in Zwischenstufen vor sich gehen. Es waren die hier kurz erwähnten Naturprozesse Gegenstand ausgedehnter experimenteller und mathematischer Untersuchungen, namentlich der grossen französischen Physiker zu Ende des vorigen und zu Anfang des jetzigen Jahrhunderts gewesen; ein reiches und genau durchgearbeitetes Capitel der Physik hat sich daraus entwickelt, in dem alles vortrefflich mit der Hypothese, die Wärme sei ein Stoff, zusammenstimmte. Anderer[seits] wusste man die bei allen diesen Prozessen constatirte Un[veränderlichkeit]

änderlichkeit der Wärmemenge damals aus keiner anderen Annahme zu erklären, als aus der, dass die Wärme eben ein Stoff sei.

Aber man hatte eine Beziehung der Wärme, nämlich die zur mechanischen Arbeit, nicht genauer untersucht. Nur ein französischer Ingenieur, Sadi Carnot, der Sohn des berühmten Kriegsministers der Revolutionszeit, hatte im Jahre 1824 die mechanische Arbeit, welche die Wärme verrichtet, daraus herzuleiten gesucht, dass sich der hypothetische Wärmestoff, gleichsam einem Gase ähnlich, auszudehnen strebe und hatte in der That aus dieser Vorstellung ein merkwürdiges Gesetz über die Arbeitsfähigkeit der Wärme abgeleitet, welches auch heute noch — freilich mit einer durch Clausius vorgenommenen wesentlichen Aenderung — in die Grundlagen der neueren sogenannten mechanischen Wärmetheorie eingeht, und dessen praktische Folgerungen, so weit sie damals mit der Erfahrung verglichen werden konnten, sich in der That bewährten.

Daneben aber bestanden die Erfahrungen, dass überall, wo zwei bewegte Körper gegen einander reiben, Wärme neu entwickelt wird, man konnte nicht sagen woher.

Die Thatsache ist allbekannt. Die Axe eines Wagenrades, welches schlecht geschmiert ist und heftig reibt, wird heiss, so heiss, dass sie sich entzünden kann; ja, schnell laufende Maschinenräder mit eisernen Axen können sich sogar an ihre Pfannen anschweissen. Auch ist nicht einmal eine heftige Reibung nöthig, um merkliche Wärme zu entwickeln. Jedes Streichhölzchen, was durch Reiben an einem Punkte so weit erwärmt wird, dass die phosphorhaltige Masse sich dort entzündet, lehrt dasselbe. Ja, man reibe nur die trockenen Handflächen unter kräftigem Druck schnell an einander, so wird man die Reibungswärme fühlen, welche viel stärker ist als die Erwärmung, welche die Hände, ruhig gegen einander liegend, in der Handfläche erzeugen; und ein deutlicher Geruch von verbranntem Horn, der von den Handtellern ausgeht, zeigt an, dass das hornige Oberhäutchen der Handflächen oberflächlich versengt ist. Uncultivirte Völker benutzen die Reibung zweier Holzstücke, um Feuer anzumachen. Zu dem Ende setzen sie eine spitze Spindel aus hartem Holze auf die in Fig. 22 (a. f. S.) dargestellte Weise in schnelle Drehung auf einer Unterlage von weichem Holze.

So lange es sich nur um Reibung fester Körper gegen einander handelte, wobei oberflächliche Theilchen abgerissen und

comprimirt werden, konnte man vielleicht noch daran denken, dass irgend welche Structuränderungen der geriebenen Körper hierbei latente Wärme frei werden liessen, welche als Reibungswärme zum Vorschein käme.

Aber man kann Wärme auch durch Reibung flüssiger Körper erzeugen, wo von Structuränderungen und von Freiwerden latenter Wärme nicht die Rede ist. Das erste entscheidende Experiment dieser Art wurde von Sir Humphrey Davy im Anfange dieses Jahrhunderts angestellt. Er liess in einem abgekühlten Raume

Fig. 22.

zwei Eisstücke auf einander reiben, und brachte sie dadurch zum Schmelzen. Die latente Wärme, welche das neugebildete Wasser hierbei aufnehmen musste, konnte durch das kalte Eis nicht zugeleitet, konnte durch keine Structurveränderung erzeugt sein, konnte nirgends herkommen als von der Reibung und musste durch die Reibung neu erzeugt sein.

Wie durch Reibung, so kann auch durch den Stoss unvollkommen elastischer Körper Wärme erzeugt werden. Dies geschieht z. B., wenn wir mit Stein und Stahl Feuer schlagen, oder mit kräftigen Hammerschlägen einen eisernen Stift längere Zeit hindurch bearbeiten.

Wenn wir uns nach der mechanischen Bedeutung der Reibung und des unelastischen Stosses umsehen, so finden wir, d diese beiden Vorgänge es sind, durch die alle bewegten irdische

Körper immer wieder zur Ruhe gebracht werden. Ein bewegter Körper, dessen Bewegung durch keine widerstehende Kraft gehemmt wird, würde sich bis in Ewigkeit fortbewegen. Ein Beispiel dafür giebt uns die Planetenbewegung. Für die Bewegung irdischer Körper ist dies scheinbar nie der Fall, weil sie mit anderen ruhenden Körpern immer in Berührung sind, und sich an diesen reiben. Wir können ihre Reibung zwar sehr vermindern, aber niemals ganz aufheben. Ein Rad, das um eine gut gearbeitete Axe läuft, setzt, einmal angestossen, seine Umlaufsbewegung lange Zeit fort; um so länger, je feiner und glatter die Axe gearbeitet, je besser sie eingefettet ist und je geringeren Druck sie zu ertragen hat. Dennoch geht die lebendige Kraft der Bewegung, die wir einem solchen Rade mitgetheilt hatten, als wir es anstiessen, allmählich verloren durch die Reibung. Sie verschwindet und, wenn wir nicht genau zusehen, hat es den Anschein, als wäre die vorhanden gewesene lebendige Kraft des Rades ohne allen Ersatz einfach vernichtet worden.

Eine Kugel, die wir auf ebener Bahn zum Rollen bringen, rollt fort, bis ihre Geschwindigkeit durch die Reibung an der Bahn, durch die kleinen Stösse an deren Unebenheiten, vernichtet ist.

Ein Pendel, das wir in Schwingung versetzt haben, kann bei guter Aufhängung Stunden lang fortschwingen, ohne durch ein Uhrwerk angetrieben zu sein; durch die leise Reibung an der umgebenden Luft und an seiner Aufhängungsstelle kommt es endlich zur Ruhe.

Ein Stein, der von der Höhe fällt, hat, wenn er an der Erde angekommen ist, eine gewisse Geschwindigkeit erreicht; diese kennen wir als das Aequivalent einer mechanischen Arbeit; so lange diese Geschwindigkeit noch als solche besteht, können wir sie bei passenden Einrichtungen nach oben hin lenken und sie benutzen, um den Stein wieder in die Höhe zu treiben. Endlich schlägt der Stein auf die Erde auf und kommt zur Ruhe; der Stoss hat seine Geschwindigkeit und damit auch scheinbar die mechanische Arbeit vernichtet, welche diese Geschwindigkeit noch zu leisten im Stande gewesen wäre.

Fassen wir das Resultat aller dieser Beispiele, die ein Jeder aus seiner täglichen Erfahrung sich leicht vermehren kann, zusammen, so sehen wir: Reibung und unelastischer Stoss sind Vorgänge, bei denen mechanische Arbeit vernichtet und dafür Wärme erzeugt wird.

Die vorher schon erwähnten Versuche von Joule führen uns noch einen Schritt weiter. Er hat nach Fusspfunden einerseits das Quantum von Arbeit gemessen, welches durch die Reibung sowohl fester, als flüssiger Körper vernichtet wurde, und andererseits das Quantum Wärme, welches dabei erzeugt wurde, und hat zwischen beiden ein festes Verhältniss gefunden. Seine Versuche ergeben nämlich, dass, wenn durch Verbrauch mechanischer Arbeit Wärme erzeugt wird, ein ganz bestimmtes Quantum Arbeit erforderlich ist, um dasjenige Quantum Wärme zu erzeugen, welches von den Physikern als Wärmeeinheit betrachtet wird: dasjenige Quantum nämlich, was nöthig ist, um ein Gramm Wasser um einen Grad der hunderttheiligen Scala zu erwärmen. Das dazu nöthige Quantum Arbeit ist nach Joule's besten Versuchen gleich der Arbeit, welche ein Gramm von 425 m Höhe fallend leisten würde.

Um die Uebereinstimmung der von ihm gewonnenen Zahlen zu zeigen, führe ich hier die Ergebnisse einiger Versuchsreihen an, welche er, nach Anbringung der letzten Verbesserungen, an seinen Methoden gewonnen hat.

1. Eine Versuchsreihe, wobei Wasser in einem Messinggefässe durch Reibung erwärmt wurde. Im Inneren dieses Gefässes drehte sich eine senkrechte, mit sechszehn Schaufeln versehene Axe, während der so erregte Wasserwirbel durch eine Reihe von Scheidewänden des Gefässes gebrochen wurde. Diese hatten Ausschnitte, eben gross genug, um das Schaufelrad durchgehen zu lassen. Der Werth des Aequivalents war 424,9 m.
2. Zwei ähnliche Versuchsreihen, wobei die reibende Flüssigkeit Quecksilber in einem eisernen Gefässe war, ergaben 425 und 426,3 m.
3. Zwei Versuchsreihen, in denen ein konischer Eisenring auf einem anderen rieb, beide von Quecksilber umgeben, ergaben 426,7 und 425,6 m.

Genau dasselbe Verhältniss zwischen Wärme und Arbeit wurde auch bei dem umgekehrten Prozesse gefunden, wenn nämlich durch Wärme Arbeit erzeugt wird. Um diesen Prozess unter möglichst zu controlirenden physikalischen Verhältnissen auszuführen, benutzt man besser permanente Gase an Stelle der Dämpfe, obgleich letztere zur Erzeugung grosser Arbeitsmengen, wie in der Dampfmaschine, praktisch bequemer sind. Ein Gas,

das man mit mässiger Geschwindigkeit sich ausdehnen lässt, kühlt sich ab. Joule war es, der zuerst zeigte, was der Grund dieser Abkühlung ist. Das Gas hat nämlich bei seiner Ausdehnung den Widerstand zu überwinden, den der Luftdruck und die langsam nachgebende Wand des Gefässes ihm entgegensetzen; oder, wenn es selbst nicht fähig ist, diesen Widerstand zu überwinden, so unterstützt es doch dabei den Arm des Beobachters, der ihn überwindet. So arbeitet das Gas, und diese Arbeit geschieht auf Kosten seiner Wärme. Daher die Abkühlung. Lässt man im Gegentheil das Gas plötzlich ausströmen in einen vollkommen luftleer gemachten Raum, wo es gar keinen Widerstand findet, so kühlt es sich nicht ab, wie Joule gezeigt hat; oder wenn einzelne Theile desselben sich abkühlen, so erwärmen sich andere, und nach Ausgleichung der Temperatur ist die Wärme genau so gross wie vor der plötzlichen Ausdehnung der Gasmasse.

Wie viel Wärme die verschiedenen Gase entwickeln, wenn sie comprimirt werden, und wie viel Arbeit zu ihrer Compression nöthig ist, oder umgekehrt, wie viel Wärme sie verschwinden machen, wenn sie sich unter einem ihrem Drucke gleichen Gegendruck dehnen, und wie viel Arbeit sie dabei in Ueberwindung dieses Gegendruckes leisten, war theils aus älteren physikalischen Versuchen bekannt, theils ist es durch neuere Versuche nach Regnault's vervollkommneten Methoden bestimmt worden. Die Rechnung mit den besten Daten dieser Art ergiebt den Werth des Wärmeäquivalents nach den Versuchen

mit atmosphärischer Luft	426,0 m
mit Sauerstoffgas	425,7 „
mit Stickstoffgas	431,3 „
mit Wasserstoffgas.	425,3 „

Vergleicht man diese Zahlen mit denen, welche die Aequivalenz von Wärme und mechanischer Kraft bei der Reibung bestimmen, so zeigt sich eine so nahe Uebereinstimmung, wie sie zwischen Zahlen, die durch so verschiedenartige Untersuchungen verschiedener Beobachter gewonnen sind, nur irgend zu erwarten ist.

Also: Eine gewisse Wärmemenge kann in eine bestimmte Menge von Arbeit verwandelt werden; diese Arbeitsmenge kann aber auch in Wärme, und zwar genau in dieselbe Wärmemenge zurückverwandelt werden, aus der sie entstanden ist; in mechanischer Beziehung sind beide einander äquivalent. Die Wärme

ist eine neue Form, in welcher ein Quantum von Arbeitskraft erscheinen kann.

Diese Thatsachen erlauben uns nun nicht mehr die Wärme als einen Stoff zu betrachten, weil die Quantität derselben nicht unveränderlich ist. Sie kann neu erzeugt werden aus der lebendigen Kraft vernichteter Bewegung; sie kann vernichtet werden, und erzeugt dann Bewegung. Wir müssen vielmehr daraus schliessen, dass die Wärme selbst eine Bewegung ist, eine innere unsichtbare Bewegung der kleinsten elementaren Theile der Naturkörper. Wenn also durch Reibung und Stoss Bewegung verloren zu gehen scheint, so geht sie in Wirklichkeit nicht verloren; sie geht nur von den grossen sichtbaren Massen auf ihre kleinsten Theile über, während in der Dampfmaschine die innere Bewegung der erhitzten Gastheile auf den Stempel der Maschine übertragen, in ihm gesammelt und in eine Resultante zusammen gefasst wird.

Welche Form diese innere Bewegung habe, lässt sich bisher nur bei den Luftarten mit einiger Wahrscheinlichkeit sagen. Deren Theilchen schiessen wahrscheinlich in geradlinigen Bahnen nach allen Richtungen durch einander hin, bis sie, an ein anderes Theilchen oder an die Wand des Gefässes anprallend, nach veränderter Richtung zurückgeworfen werden. Ein Gas wäre etwa einem Mückenschwarme ähnlich, nur aus unendlich viel kleineren und unendlich viel dichter gedrängten Theilchen bestehend. Diese von Kroenig, Clausius, Maxwell ausgebildete Hypothese giebt sehr gut Rechenschaft von allen Erscheinungen der Gase.

Was den früheren Physikern als die constante Quantität des Wärmestoffs erschien, ist nichts weiter als die gesammte Arbeitskraft der Wärmebewegung, welche so lange constant bleibt, als sie nicht in andere Formen von Arbeit übergeführt wird, oder aus anderen Formen der Arbeit neu entsteht.

Wir wenden uns noch zu einer anderen Form arbeitsfähiger Naturkräfte, nämlich zu den chemischen Kräften. Wir sind ihnen heute schon begegnet. Sie sind es in letzter Instanz, welche die Arbeitsleistungen des Schiesspulvers und der Dampfmaschine hervorbringen, insofern wir die Wärme, welche in dieser gebraucht wird, durch Verbrennung von Kohle, d. h. durch einen chemischen Prozess, gewinnen. Die Verbrennung der Kohle ist die chemische Vereinigung des Kohlenstoffs mit dem Sauerstoffe der Luft, vor sich gehend unter dem Einflusse der chemischen Verwandtschaftskraft beider Stoffe.

Diese Kraft können wir uns als eine Anziehungskraft zwischen beiden vorstellen, welche dann und zwar ausserordentlich stark, wirksam ist, wenn die kleinsten Theile beider Stoffe in engste Nachbarschaft zu einander gebracht sind. Bei der Verbrennung wird diese Kraft wirksam; die Kohlenstoff- und Sauerstoffatome stürzen auf einander los und haften an einander fest, indem sie einen neuen Stoff, eine Verbindung beider, nämlich Kohlensäure, bilden, eine Gasart, Ihnen allen bekannt als diejenige, welche aus gährenden und gegohrenen Getränken, aus dem Biere, dem Champagner aufsteigt. Diese Anziehungskraft zwischen den Atomen des Kohlenstoffes und des Sauerstoffes leistet gerade so gut Arbeit, wie jene, welche die Erde in der Form der Schwere auf ein gehobenes Gewicht ausübt. Wenn das Gewicht zu Boden gefallen ist, so bringt es eine Erschütterung hervor, die zum Theil sich als Schallerschütterung auf die Umgebung fortpflanzt, zum Theil als Wärmebewegung bestehen bleibt. Ganz dasselbe müssen wir als Erfolg der chemischen Anziehung erwarten. Wenn Kohlenstoff- und Sauerstoffatome auf einander losgestürzt sind und sich zu Kohlensäure vereinigt haben, so müssen die neugebildeten Theilchen der Kohlensäure in heftigster Molecularbewegung sein, d. h. in Wärmebewegung. Und so finden wir es. Ein Pfund Kohlenstoff, mit Sauerstoff zu Kohlensäure verbrannt, giebt so viel Wärme als nöthig ist um 80,9 Pfund Wasser vom Gefrierpunkt bis zum Sieden zu erhitzen, und, wie die gleiche Arbeitsmenge erzeugt wird, wenn ein Gewicht fällt, ob es schnell oder langsam fällt, so wird auch die gleiche Wärmemenge durch Verbrennung des Kohlenstoffs erzeugt, ob diese schnell oder langsam, auf einmal oder in Absätzen vor sich geht.

Wenn die Kohle verbrannt ist, so erhalten wir an ihrer und des verbrauchten Sauerstoffes Stelle das gasige Verbrennungsproduct, die Kohlensäure. Diese ist unmittelbar nach der Verbrennung glühend heiss. Hat sie später ihre Wärme an die Umgebung abgegeben, so haben wir in der Kohlensäure noch den ganzen Kohlenstoff, den ganzen Sauerstoff und auch noch die Verwandtschaftskraft beider ebenso kräftig wie vorher bestehend. Aber letztere äussert sich jetzt nur noch darin, dass sie die Kohlenstoff- und Sauerstoffatome fest aneinander heftet, ohne eine Trennung derselben zu gestatten; Arbeit oder Wärme kann sie nicht mehr hervorbringen, ebenso wenig wie ein gefallenes Gewicht noch Arbeit zu leisten vermag, ehe es nicht durch eine fremde Kraft wieder emporgehoben ist. Wenn die Kohle

verbrannt ist, bemühen wir uns deshalb auch nicht weiter die Kohlensäure festzuhalten; sie kann uns keine Dienste mehr leisten, wir suchen sie im Gegentheil so schnell wie möglich durch die Schornsteine aus unseren Häusern zu entfernen.

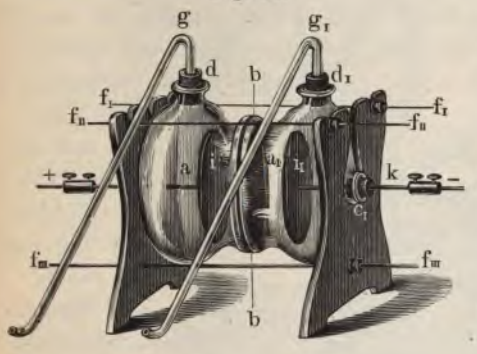
Ist es nun möglich, die Bestandtheile der Kohlensäure wieder von einander zu reissen, und ihnen ihre Leistungsfähigkeit, die sie ursprünglich vor ihrer Vereinigung hatten, wieder zu geben, wie man die Leistungsfähigkeit eines Gewichtes herstellt, indem man es vom Boden erhebt? Es ist in der That möglich. Wir werden später sehen, wie dieses im Leben der Pflanzen geschieht; auch ist es möglich, dasselbe durch unorganische Prozesse, freilich nur auf weiteren Umwegen, zu erreichen, deren Auseinandersetzung uns hier zu weit von unserem Wege abführen würde.

Aber für ein anderes chemisches Element, welches ebenso wie der Kohlenstoff verbrannt werden kann, nämlich für den Wasserstoff, lässt es sich leicht und direct thun. Wasserstoff ist neben dem Kohlenstoff ein Bestandtheil aller verbrennlichen Pflanzensubstanzen, unter anderem auch ein wesentlicher Bestandtheil des Gases, welches wir zur Beleuchtung unserer Strassen und Zimmer benutzen. Im isolirten Zustande ist der Wasserstoff ein Gas, das leichteste von allen, und brennt, angezündet, mit schwach leuchtender blauer Flamme. Bei dieser Verbrennung, d. h. bei der chemischen Verbindung des Wasserstoffes mit Sauerstoff, entsteht eine sehr bedeutende Wärmemenge; für ein Gewicht Wasserstoff sogar viermal so viel Wärme als bei der Verbrennung des gleichen Gewichtes Kohlenstoff. Das Product der Verbrennung ist Wasser, welches daher selbst nicht mehr verbrennlich ist, da in ihm der Wasserstoff mit Sauerstoff schon vollständig gesättigt ist. Wie vorher die Verwandtschaftskraft des Kohlenstoffes zum Sauerstoff, so leistet jetzt die des Wasserstoffes zum Sauerstoff bei deren Verbrennung eine Arbeit, die in Form von Wärme zum Vorschein kommt. In dem durch die Verbrennung gebildeten Wasser besteht die Verwandtschaftskraft zwischen den beiden Elementen allerdings nach wie vor; aber ihre Arbeitsfähigkeit ist verloren gegangen. Wir müssen die beiden Elemente erst wieder trennen, ihre Atome von einander reissen, um neue Wirkungen von ihnen zu erhalten.

Das können wir mit Hülfe der elektrischen Ströme ausführen. In dem in Fig. 23 abgebildeten Apparate haben wir zwei mit angesäuertem Wasser gefüllte Glasgefässe a und a_1, die

in der Mitte durch eine poröse und mit Wasser durchfeuchtete Thonplatte von einander geschieden sind. Von beiden Seiten ragen die Platindrähte k in die Gefässe hinein und tragen die Platinplatten i und i_1. Sobald wir nun einen galvanischen Strom durch die Platindrähte k in das Wasser einleiten, sehen Sie von den beiden Platten i und i_1 Ströme von Luftbläschen in die Höhe steigen. Diese Luftbläschen sind die beiden Elemente des Wassers: auf der einen Seite Wasserstoff, auf der anderen Sauerstoff. Die Gase entweichen durch die beiden Röhren g und g_1. Wenn wir warten, bis sich die oberen Theile der Flaschen und die Röhren damit gefüllt haben, so können wir nun an der einen Seite das Wasserstoffgas entzünden; es brennt mit blauer Flamme. Wenn ich der Mündung der anderen Röhre einen glimmenden Spahn nähere, flammt er auf, wie es im Sauerstoffgase geschieht. In diesem gehen die Verbrennungsprozesse sehr viel intensiver vor sich, als in der atmosphärischen Luft, wo der Sauerstoff, mit Stickstoff sich mischend, nur ein Fünftheil des Volumens ausmacht.

Fig. 23.



Halte ich einen mit kaltem Wasser gefüllten Glaskolben über die Wasserstoffflamme, so schlägt sich an diesem das durch die Verbrennung neugebildete Wasser nieder.

Halte ich in die fast gar nicht leuchtende Flamme einen Platindraht, so sehen Sie ihn intensiv glühend werden; ja in einem reichlichen Strome der Mischung des hier erzeugten Wasserstoff- und Sauerstoffgases würde ich das so schwer schmelzbare Platin sogar schmelzen können. Das Wasserstoffgas, was hier durch den elektrischen Strom aus dem Wasser getrennt ist, hat also die Fähigkeit wieder erhalten, durch neue Vereinigung mit Sauerstoff grosse Wärmemengen zu erzeugen; seine Verwandtschaftskraft zum Sauerstoff hat ihre Arbeitsfähigkeit wieder erhalten.

Wir lernen hier wieder eine neue Quelle von Arbeitskraft kennen, nämlich den elektrischen Strom, der das Wasser zerlegt.

Dieser Strom selbst ist erzeugt durch eine galvanische Batterie, (Fig. 24). Jedes der vier Gläser enthält Salpetersäure, in welche ein hohler Cylinder aus sehr dichter Kohle eintaucht. In der mittleren Oeffnung des Kohlencylinders steht ein cylindrisches, aus weissem Thon gebranntes, poröses Gefäss, welches mit wässeriger Schwefelsäure gefüllt ist und in diese Flüssigkeit taucht ein Cylinder aus Zink. Jeder Zinkcylinder ist durch einen metallischen Bügel mit dem Kohlencylinder des nächsten Glases verbunden; der letzte Zinkcylinder *n* mit der einen Platinplatte; der erste Kohlencylinder *p* mit der anderen Platinplatte des Wasserzersetzungsapparates (Fig. 23).

Fig. 24.

Wenn nun der leitende Kreis dieses galvanischen Apparates hergestellt wird und die Wasserzersetzung beginnt, so geht gleichzeitig auch ein chemischer Prozess in den Zellen der galvanischen Kette vor sich. Zink entzieht dem umgebenden Wasser Sauerstoff und erleidet also eine, wenn auch langsame Verbrennung. Das dabei gebildete Verbrennungsproduct, das Zinkoxyd, vereinigt sich weiter mit der Schwefelsäure, zu der es eine kräftige Verwandtschaft hat, und das schwefelsaure Zink, ein salzähnlicher Körper, löst sich in der Flüssigkeit auf. Den Sauerstoff, der ihm entzogen ist, erhält das Wasser wieder von der die Kohlencylinder umgebenden Salpetersäure, welche viel Sauerstoff enthält und ihn leicht hergiebt. So verbrennt also in der galvanischen Batterie Zink zu schwefelsaurem Zinkoxyd auf Kosten des Sauerstoffs der Salpetersäure.

Während also das eine Verbrennungsproduct, das Wasser, wieder getrennt wird, geht eine neue Verbrennung vor sich, die des Zinks. Während wir dort arbeitsfähige chemische Verwandtschaft wieder herstellen, geht sie hier verloren. Der elektrische Stro ist gleichsam nur der Träger, der die chemische Kraft des r

Sauerstoff und Säure sich verbindenden Zinkes auf das Wasser in der Zersetzungszelle hinüberleitet und zur Ueberwindung der chemischen Kraft des Wasserstoffes und Sauerstoffes verwendet.

Fig. 25.

Wir können also eine verloren gegangene Arbeitskraft wieder herstellen, aber nur, indem wir eine andere Arbeitskraft, die des sich oxydirenden Zinkes, dazu aufwenden.

In diesem Falle haben wir eine chemische Kraft durch die andere überwunden unter Vermittelung des elektrischen Stromes. Aber wir können dasselbe auch durch mechanische Kräfte erreichen, wenn wir den elektrischen Strom durch eine magnet-elektrische Maschine (siehe Fig. 25) erzeugen. Wenn wir deren Kurbel

drehen, rotirt der mit besponnenem Kupferdraht umwickelte Anker RR' des grossen Hufeisenmagneten, und dabei erzeugen sich in den Drahtwindungen elektrische Ströme, die von den Punkten a und b nach aussen geleitet werden können. Verbinden wir die Enden dieser Drahtleitungen mit dem Wasserzersetzungsapparate, so gewinnen wir auch so Wasserstoff- und Sauerstoffgas, freilich in viel geringerer Menge, als durch die vorher gebrauchte Batterie. Dieser Vorgang ist deshalb interessant, weil wir dabei durch die mechanische Kraft unseres Armes, der die Kurbel dreht, die Arbeit erzeugen, welche zur Trennung der verbundenen chemischen Elemente gebraucht wird. Wie die Dampfmaschine chemische Kraft in mechanische verwandelt, so verwandelt die magnet-elektrische Maschine mechanische Kraft in chemische.

Ueberhaupt eröffnet die Anwendung elektrischer Ströme eine grosse Menge von Beziehungen zwischen den verschiedenen Naturkräften. Wir haben durch solche Ströme das Wasser in seine Elemente zerlegt und würden eine grosse Zahl anderer chemischer Verbindungen dadurch zerlegen können. Andererseits werden in den gewöhnlichen galvanischen Batterien elektrische Ströme durch chemische Kräfte erzeugt.

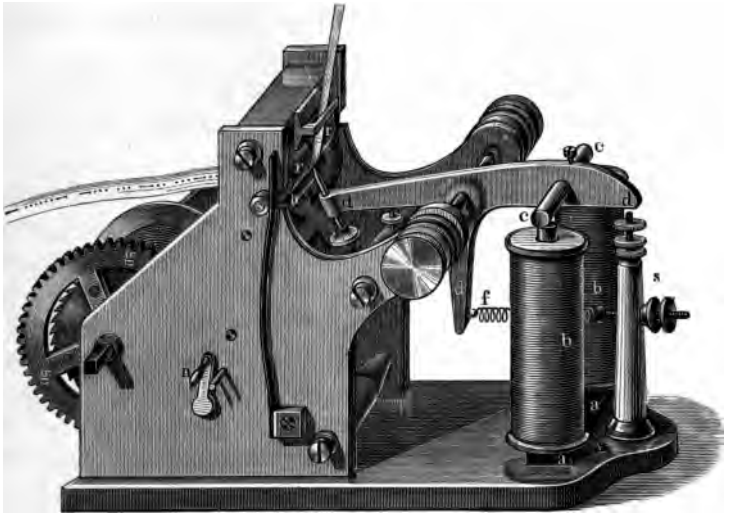
In allen Leitern, durch welche elektrische Ströme fliessen, wird Wärme entwickelt; ich spanne diesen dünnen Platindraht zwischen den Enden n und p der galvanischen Batterie Fig. 24 aus; er wird lebhaft glühend und schmilzt. Andererseits werden in den sogenannten thermo-elektrischen Ketten elektrische Ströme durch Wärme erzeugt.

Eisen, das man einer von einem elektrischen Strome durchflossenen Kupferdrahtspirale nahe bringt, wird magnetisch und zieht anderes Eisen oder einen in der Nähe befindlichen Stahlmagneten an. So erhalten wir mechanische Wirkungen, die z. B. in den elektrischen Telegraphen ausgedehnte Anwendung erfahren. Fig. 26 zeigt den Morse'schen Telegraphen in $^1/_3$ der natürlichen Grösse. Der wirksame Theil ist ein hufeisenförmig gestalteter Eisenkern, der in den Kupferdrahtspiralen bb steckt. Ueber seinen nach oben gekehrten Enden liegt quer der kleine Stahlmagnet cc, der angezogen wird, sowie man einen elektrische Strom durch die Telegraphenleitung den Spiralen bb zuführ Der Magnet cc sitzt fest in dem Hebel dd; dessen anderes E trägt den Schreibstift, der bei r auf den durch das Uhrw laufenden Papierstreifen schreibt, so oft und so lange cc du die magnetische Wirkung des elektrischen Stromes herabgez

wird. Umgekehrt würden wir durch Veränderung des Magnetismus in dem Eisenkerne der Spiralen *b b* in diesen einen elektrischen Strom erhalten; gerade wie wir auf ähnliche Weise in der magnet-elektrischen Maschine (Fig. 25) solche Ströme erhielten. Auch dort steckt in den Spiralen ein Eisenkern, der durch seine Annäherung an die Pole des grossen Hufeisenmagneten bald in dem einen, bald in dem anderen Sinne magnetisirt wird.

Ich will die Beispiele nicht weiter häufen; es werden uns noch manche derartige Beziehungen in späteren Vorlesungen be-

Fig. 26.



gegnen. Lassen Sie uns aber diese Beispiele noch einmal überblicken und daran das allen gemeinsame Gesetz erkennen:

Ein gehobenes Gewicht kann Arbeit leisten; aber es muss dabei nothwendig von seiner Höhe herabsinken; und wenn es so tief gefallen ist, als es fallen kann, bleibt seine Schwere zwar nach wie vor bestehen, aber sie kann keine Arbeit mehr leisten.

Eine gespannte Feder kann Arbeit leisten; aber sie erschlafft, indem sie es thut.

Geschwindigkeit einer bewegten Masse kann Arbeit leisten; sie geht dabei aber in Ruhe über. Wärme kann Arbeit leisten; aber sie wird vernichtet, indem sie es thut.

Chemische Kräfte können Arbeit leisten; aber sie erschöpfen sich, indem sie arbeiten.

Elektrische Ströme können Arbeit leisten; aber zu ihrer Unterhaltung müssen wir chemische oder mechanische Kräfte, oder Wärme aufbrauchen.

Wir dürfen dies allgemein aussprechen: Es ist ein allgemeiner Charakter aller bekannten Naturkräfte, dass ihre Arbeitsfähigkeit erschöpft wird, in dem Maasse als sie Arbeit wirklich hervorbringen.

Wir haben weiter gesehen, dass ein Gewicht, wenn es fällt, ohne andere Arbeit zu verrichten, entweder Geschwindigkeit erlangt oder Wärme erzeugt. Wir könnten durch das Gewicht auch eine magnet-elektrische Maschine treiben; dann würde es uns elektrische Ströme liefern.

Wir haben gesehen, dass chemische Kräfte, wenn sie zur Wirkung kommen, entweder Wärme oder elektrische Ströme, oder auch mechanische Arbeit erzeugen.

Wir haben gesehen, dass Wärme in Arbeit verwandelt werden kann; es giebt Apparate (thermo-elektrische Ketten), in denen durch Wärme elektrische Ströme erzeugt werden. Sie kann auch chemische Verbindungen direct scheiden, z. B. bei dem Verbrennen von Kalk trennt sie den Kalk von der Kohlensäure.

So erhält, wenn die Leistungsfähigkeit der einen Naturkraft vernichtet wird, immer eine andere neue Wirksamkeit. Ja, innerhalb des Kreises der anorganischen Naturkräfte können wir jede derselben mit Hülfe jeder anderen wirkungsfähigen Naturkraft in den wirksamen Zustand zurück versetzen. Die Verbindungen zwischen den verschiedenen Naturkräften, welche die neuere Physik aufgedeckt hat, sind so ausserordentlich zahlreich, dass sich für beinahe jede dieser Aufgaben mehrere ganz verschiedene Wege auffinden lassen.

Ich habe angegeben, wie man mechanische Arbeit zu messen pflegt, und wie man das Arbeitsäquivalent der Wärme bestimmt. Das Arbeitsäquivalent der chemischen Prozesse wird wiederum durch die Wärme gemessen, die sie hervorbringen. Durch ähnliche Beziehungen können auch die Arbeitsäquivalente der übrigen Naturkräfte auf das Maass der mechanischen Arbeit zurückgeführt werden.

Wenn eine gewisse mechanische Arbeitsmenge verloren geht, so wird, wie die darauf gerichteten Untersuchungen übereinstimmend gelehrt haben, ein entsprechendes Aequivalent von Wärme, oder, statt dieser, von chemischer Kraft gewonnen; um-

gekehrt, wenn Wärme verloren geht, gewinnen wir eine äquivalente Menge von chemischer oder mechanischer Arbeitskraft; wenn chemische Kraft verloren geht, von Wärme oder Arbeit. So dass bei allen diesen Wechselwirkungen zwischen den verschiedenartigen unorganischen Naturkräften Arbeitskraft zwar in einer Form verschwinden kann, dann aber in genau äquivalenter Menge in anderer Form neu auftritt, also weder vermehrt noch vermindert wird, sondern immer in gleichbleibender Menge bestehen bleibt.

Dass dasselbe Gesetz auch für die Vorgänge in der organischen Natur gilt, so weit bisher die Thatsachen geprüft sind, werden wir später sehen.

Daraus folgt: dass die Summe der wirkungsfähigen Kraftmengen im Naturganzen bei allen Veränderungen in der Natur ewig und unverändert dieselbe bleibt. Alle Veränderung in der Natur besteht darin, dass die Arbeitskraft ihre Form und ihren Ort wechselt, ohne dass ihre Quantität verändert wird. Das Weltall besitzt ein für alle Mal einen Schatz von Arbeitskraft, der durch keinen Wechsel der Erscheinungen verändert, vermehrt oder vermindert werden kann und der alle in ihm vorgehende Veränderung unterhält.

Sie sehen, wie wir, von Betrachtungen ausgehend, die es nur mit den nächstliegenden praktischen Interessen technischer Arbeit zu thun hatten, hinübergeführt worden sind zu einem allgemeinen Naturgesetze, welches, soweit unsere bisherige Erfahrung reicht, alle Naturprozesse überhaupt beherrscht und umfasst, welches auch gar nicht mehr auf die praktischen Zwecke des menschlichen Nutzens beschränkt ist, sondern eine ganz allgemeine und besonders charakteristische Eigenschaft aller Naturkräfte ausspricht, und welches nach seiner Allgemeinheit nur den Gesetzen von der Unveränderlichkeit der Masse und der Unveränderlichkeit der chemischen Elemente an die Seite zu stellen ist.

Es entscheidet zugleich endgültig eine grosse praktische Frage, die in den letzten beiden Jahrhunderten vielfach erörtert wurde, und zu deren Entscheidung man eine unendliche Zahl von Versuchen angestellt und von Apparaten gebaut hat, nämlich die Frage von der Möglichkeit eines Perpetuum mobile. Darunter verstand man eine Maschine, welche ohne Hülfe einer äusseren Triebkraft fortdauernd gehen und arbeiten sollte. Die Lösung dieses Problems versprach unermesslichen Gewinn. Eine

solche Maschine würde alle Vortheile der Dampfmaschinen gehabt haben, ohne Brennmaterial zu kosten. Arbeit ist Geld. Eine Maschine, die Arbeit aus nichts schaffen konnte, war so gut wie eine, welche Gold machte. So war dieses Problem eine Zeit lang an die Stelle der Goldmacherei getreten und verwirrte manchen grübelnden Kopf. Dass ein Perpetuum mobile mit Benutzung der bekannten mechanischen Kräfte nicht herzustellen sei, konnte schon im vorigen Jahrhundert mittelst der inzwischen entwickelten mathematischen Mechanik nachgewiesen werden. Um aber zu zeigen, dass es auch nicht möglich sei, wenn man Wärme, chemische Kräfte, Elektricität und Magnetismus mitwirken lasse, dazu musste man das von uns ausgesprochene Gesetz in seiner allgemeinen Fassung kennen. Die Möglichkeit eines Perpetuum mobile wurde erst durch das Gesetz von der Erhaltung der Kraft endgültig verneint, und man könnte dieses Gesetz auch ebenso gut in der praktischen Form aussprechen, dass ein Perpetuum mobile nicht möglich sei, dass eine Arbeitskraft nicht aus Nichts und ohne Verbrauch geschaffen werden könne.

Sie werden die Wichtigkeit und die Tragweite unseres Gesetzes erst vollständig beurtheilen können, wenn Sie eine Reihe seiner Anwendungen auf die einzelnen Vorgänge der Natur vor Augen haben.

Schon was ich heute erwähnt habe über den Ursprung der Triebkräfte, die unserer Benutzung zu Gebote stehen, weist uns hinaus über die engen Verhältnisse unserer Laboratorien und Fabriken auf die grossen Vorgänge in dem Leben der Erde und des Weltalls. Die Kraft des fallenden Wassers kann den Bergen nur entströmen, wenn Regen und Schnee es ihnen zuführen. Um diese zu liefern, müssen wir Wasserdampf in der Atmosphäre haben, der nur durch Wärme erzeugt werden kann, und diese Wärme kommt von der Sonne. Die Dampfmaschine bedarf des Brennmaterials, welches das Pflanzenleben liefert; sei es das jetzt thätige Leben der uns umgebenden Vegetation; oder das erloschene Leben, welches die mächtigen Steinkohlenlager in den Tiefen der Erde erzeugt hat. Wir werden später sehen, in welcher innigen Beziehung das Pflanzenleben zum Sonnenlichte steht. Die Kraft der Menschen und Thiere muss wieder ersetzt werden durch Nahrung; alle Nahrung kommt zuletzt aus dem Pflanzenreich und führt uns auf dieselbe Quelle zurück.

Sie sehen, wenn wir forschen nach dem Ursprunge der Triebkräfte, die wir in unseren Dienst nehmen, so werden wir ge-

wiesen auf die meteorologischen Vorgänge in der Atmosphäre der Erde, auf das Leben der Pflanzen im Ganzen, auf die Sonne.

Dieser Weisung werden wir in den kommenden Vorlesungen zu folgen versuchen [1]).

---

[1]) Die im zweiten Bande folgende Vorlesung über die Entstehung des Planetensystems ist eine Ausarbeitung des wesentlichen Inhalts einer dieser weiteren Vorlesungen.

Eis und Gletscher

Vorlesung gehalten in Heidelberg und in Frankfurt a. M.
im Februar 1865

Hochgeehrte Versammlung!

Die Welt des Eises und des ewigen Schnees, wie sie sich auf den Gipfeln der benachbarten Alpenkette entfaltet, so starr, so einsam, so gefahrvoll sie auch sein mag, hat ihren ganz besonderen Zauber. Sie fesselt nicht nur die Aufmerksamkeit des Naturforschers, der in ihr die wunderbarsten Aufschlüsse über die vergangene und die jetzige Geschichte des Erdballs findet; sie lockt auch in jedem Sommer Tausende von Reisenden aus allen Ständen herbei, die in ihr geistige und körperliche Erfrischung suchen. Während die Einen sich damit begnügen, von ferne den blendenden Schmuck zu bewundern, den die reinen Lichtmassen schneeiger Gipfel, eingeschaltet zwischen das tiefe Blau des Himmels und das saftige Grün der Matten, der Landschaft verleihen, dringen Andere kühner vor in die fremdartige Welt, den äussersten Graden von Anstrengung und Gefahr sich willig unterziehend, um sich am Anblick dieser Erhabenheit zu sättigen.

Ich will nicht versuchen, was so oft schon vergebens versucht worden ist, Ihnen mit Worten die Schönheit und Grossartigkeit der Natur auszumalen, deren Anblick den Alpenwanderer entzückt. Ich darf ja wohl voraussetzen, dass sie den meisten von Ihnen aus eigener Anschauung bekannt ist. Aber ich meine, dass die Freude und das Interesse an der Erhabenheit jener Scenen Sie um so geneigter machen wird, auch den sehr merkwürdigen Ergebnissen der neueren Naturforschung über die hervorragendsten Erscheinungen der Eiswelt ein williges Ohr zu leihen. Da zeigen sich kleine Eigenthümlichkeiten des Eises, deren Erwähnung Ihnen unter anderen Umständen vielleicht als eine wissenschaftliche Spitzfindigkeit erscheinen würde, als Ursachen der wichtigsten Vorgänge in den Gletschern. Unförmliche Steinblöcke beginnen dem

aufmerksamen Beobachter ihre Geschichte zu erzählen, eine Geschichte, die weit über die Vergangenheit des Menschengeschlechtes hinausreicht in das Dunkel der Urzeit. Ruhiges, gesetzmässiges und segensreiches Walten ungeheurer Naturkräfte wird da offenbar, wo beim ersten Anblick sich nur Wüsten zeigen, entweder unabsehbar hingestreckt in trostloser öder Einsamkeit, oder voll wilder gefahrdrohender Verwirrung, ein Tummelplatz zerstörender Gewalten. Und so glaube ich Ihnen versprechen zu dürfen, dass das Studium des Zusammenhanges jener Erscheinungen, wovon ich heute allerdings nur einen kurzen Abriss geben kann, Ihnen nicht nur eine prosaische Belehrung gewähren, sondern auch Ihre Freude an den grossartigen Scenen des Hochgebirges lebhafter, Ihr Interesse reicher und Ihre Bewunderung grösser machen wird.

Lassen Sie mich Ihnen zuerst die Hauptzüge der äusseren Erscheinung der Schneefelder und Gletscher des Hochgebirges in das Gedächtniss zurückrufen und ergänzend hinzufügen, was genauere Messungen zur Beobachtung beigetragen haben, ehe ich zur Erörterung des ursächlichen Zusammenhanges jener Vorgänge übergehe.

Je höher wir an den Bergen hinaufsteigen, desto kälter wird es. Unsere Atmosphäre ist wie eine wärmende Decke über die Erde hingebreitet; sie ist für die leuchtenden Wärmestrahlen der Sonne fast vollkommen durchsichtig, und lässt diese ohne merkliche Hinderung herein. Aber die Atmosphäre ist nicht ebenso durchgängig für die dunklen Wärmestrahlen, welche, von den erwärmten irdischen Körpern ausgehend, wieder in den Weltraum zurückstreben. Diese werden von der atmosphärischen Luft verschluckt, namentlich da, wo sie feucht ist; dadurch wird die Luftmasse selbst erwärmt, und sie giebt die gewonnene Wärme nur langsam, in der Richtung nach dem freien Weltraum hin, wieder ab. Die Ausgabe der Wärme ist also verzögert im Verhältniss zur Einnahme, und dadurch wird ein gewisser Wärmevorrath längs der Erdoberfläche festgehalten. Ueber hohen Gebirgen aber ist die schützende Decke der Atmosphäre viel dünner; dort kann die ausstrahlende Wärme des Erdbodens viel schneller in den Weltraum zurück entweichen; dort ist also auch der aufgespeicherte Wärmevorrath geringer und die Temperatur niedriger als in der Tiefe.

Dazu kommt noch eine andere in demselben Sinne wirkende Eigenthümlichkeit der Luft. In einer Luftmasse, welche

ausdehnt, verschwindet ein Theil ihres Wärmevorrathes; die Luft wird kühler, wenn sie nicht neue Wärme von aussen aufnehmen kann. Umgekehrt wird durch erneutes Zusammendrücken der Luft dieselbe Wärmemenge wieder erzeugt, welche durch die Ausdehnung verschwunden war. Wenn z. B. die warme Luft des Mittelmeeres durch den Südwind nach Norden getrieben und gezwungen wird, zur Höhe des grossen Gebirgswalles der Alpen hinaufzusteigen, so wird sie sich hier, entsprechend dem geringeren, durch das Barometer angezeigten Luftdruck, etwa um die Hälfte ihres Volumens ausdehnen, und sich dabei sehr beträchtlich — für eine mittlere Höhe des Gebirges von 11000 Fuss um 16 bis 25° R., je nachdem sie feucht oder trocken ist — abkühlen und gleichzeitig den grösseren Theil ihrer Feuchtigkeit als Regen oder Schnee absetzen. Kommt dieselbe Luft nachher auf der Nordseite des Gebirges als Föhnwind wieder in die Thäler und Ebenen hinab, so wird sie wieder verdichtet und erwärmt sich auch wieder. Derselbe Luftstrom also, der in den Ebenen diesseits und jenseits des Gebirges warm ist, kann auf der Höhe schneidend kalt sein und dort Schnee absetzen, während wir ihn in der Ebene unerträglich heiss finden.

Die Temperaturabnahme nach der Höhe hin, welche durch diese beiden Ursachen bedingt wird, ist bekanntlich schon an den niedrigeren Bergketten unserer Nachbarschaft sehr merklich. Sie beträgt im mittleren Europa etwa 1 Grad Réaumur im Sommer auf 600 Fuss, im Winter auf 900 Fuss Steigung. In den Alpen werden die Temperaturunterschiede, der grösseren Höhe entsprechend, viel bedeutender, so dass auf den höheren Gipfeln und Abhängen der im Winter gefallene Schnee während des ganzen Sommers nicht mehr abschmilzt. Man nennt bekanntlich die Linie, oberhalb deren der Schnee während des ganzen Jahres den Boden bedeckt, die Schneegrenze. Sie liegt an der Nordseite der Alpen etwa in der Höhe von 8000 Fuss, an der Südseite in der Höhe von 8800 Fuss. Auch oberhalb der Schneegrenze kann es an sonnigen Tagen sehr warm sein; ja die ungeschwächte Strahlung der Sonne, noch verstärkt durch das vom Schnee zurückgeworfene Licht, wird hier oft ganz unleidlich. Anmuthige Zeugen für die Stärke des Sonnenscheins sind die gesättigten Farben und der starke Duft der kleinen Alpenblümchen, die in geschützten Felsspalten zwischen den Schneefeldern erblühen. Trotz der starken Strahlung der Sonne steigt die Temperatur der Luft über den Schneefeldern nur bis 5°,

höchstens 8° R.; diese genügt jedoch, um einen ziemlichen Theil der oberflächlichen Schneeschichten zu schmelzen. Aber die warmen Stunden und Tage sind zu kurz, um die grossen Schneemassen, welche während der kühleren Zeiten gefallen sind, zu bewältigen. Die Höhe der Schneegrenze ist deshalb nicht allein von der Temperatur der Gebirgsabhänge, sondern wesentlich auch von der Menge des jährlichen Schneefalles abhängig. Sie liegt z. B. im Himalaya auf dem feuchtwarmen Südabhange tiefer als auf dem viel kälteren, aber auch viel trockeneren Nordabhange desselben Gebirges. Entsprechend dem feuchten Klima des westlichen Europa ist der Schneefall auf den Alpen sehr gross, und deshalb ist hier auch die Zahl und Ausdehnung der Gletscher verhältnissmässig bedeutend, so dass wenige Gebirge der Erde in dieser Beziehung mit ihnen verglichen werden können. Eine ähnliche Ausbildung der Eiswelt finden wir, so weit bekannt ist, nur noch auf dem Himalayagebirge, dort begünstigt durch die grössere Höhe, auf Grönland und im nördlichen Norwegen wegen des kälteren Klimas, auf einigen Inseln, wie Island und Neuseeland, wegen der grösseren Feuchtigkeit.

Die Gebiete oberhalb der Schneegrenze sind also dadurch charakterisirt, dass der Schnee, welcher im Laufe des Jahres auf sie nieder fällt, während des Sommers nicht ganz wegschmilzt, sondern zum Theil liegen bleibt. Dieser zurückgelassene Schnee wird vor weiterer Einwirkung der Sonnenwärme geschützt durch neue Schneemassen, welche der nächste Herbst, Winter und Frühling über ihn ausschütten. Auch von diesem neuen Schnee lässt der nächste Sommer einen Rest übrig, und so häufen sich Jahr auf Jahr neue Schneeschichten über einander. Wo eine solche Schneeanhäufung an einem jähen Absturze endet und ihr inneres Gefüge freigelegt ist, erkennt man die regelmässig über einander gelagerten Jahresschichten.

Es ist aber klar, dass diese Aufhäufung von Schneeschichten nicht in das Unendliche fortgehen kann, sonst müsste die Höhe der Schneegipfel Jahr für Jahr wachsen. Je mehr der Schnee sich aufthürmt, desto steiler werden seine Abhänge, desto grösser das Gewicht, welches die unteren Schichten belastet und welches fortzudrängen strebt. Schliesslich entsteht auf den geneigten hängen des Gebirges ein Zustand, bei welchem die Schne zu steil wird, als dass neuer Schnee auf ihr liegen bleiben k und bei welchem die Last, welche die unteren Schichten abwärts drängt, zu gross ist, als dass diese sich in ihrer

erhalten könnte. So wird also ein Theil des Schnees, der oberhalb der Schneegrenze gefallen und dort vor Schmelzung geschützt ist, gezwungen werden, seine ursprüngliche Lagerungsstätte zu verlassen und sich einen neuen Platz zu suchen. Diesen findet er jetzt unterhalb der Schneegrenze, auf tiefer gelegenen Gebirgsabhängen und namentlich in den Thälern. Hier aber, dem Einflusse einer wärmeren Luft ausgesetzt, schmilzt er endlich und fliesst als Wasser davon. Die Herabbewegung der Schneemassen von ihren ursprünglichen Lagerungsstätten geschieht zuweilen plötzlich, in Gestalt von Lawinenstürzen, gewöhnlich aber sehr allmählich in Form von Gletschern.

Demgemäss haben wir zwei verschiedene Theile der Eisfelder zu unterscheiden. Erstens den ursprünglich gefallenen Schnee — in der Schweiz Firn genannt — oberhalb der Schneegrenze, die Abhänge der Gipfel bedeckend, so weit er an ihnen haften kann, und die oberen weiten kesselförmigen Enden der Thäler mit Schneefeldern oder Firnmeeren ausfüllend. Zweitens haben wir die Gletscher — in Tyrol Ferner genannt — welche als Verlängerungen der Firnmeere nach unten oft 4000 bis 5000 Fuss unter die Schneegrenze hinabreichen und in denen der lockere Schnee der Firnmeere, in durchsichtiges festes Eis verwandelt, sich wiederfindet. Daher der Name Gletscher, vom lateinischen *glacies*, französisch *glace*, *glacier*, abstammend.

Schon Goethe hat die äussere Erscheinung der Gletscher mit Strömen von Eis verglichen. Von den Firnmeeren ziehen sie sich durch die Tiefe der herabsteigenden Thäler hin, und füllen diese in ganzer Breite und oft bis zu ziemlicher Höhe mit Eis. Sie folgen dabei allen Krümmungen, Windungen, Verengungen und Erweiterungen des Thales. Häufig stossen zwei Gletscher zusammen, deren Thäler sich vereinigen. Dann vereinigen sich auch die beiden Eisströme zu einem gemeinsamen Hauptstrom, der das gemeinsame Thal füllt. An vielen Stellen zeigen diese Eisströme eine ziemlich ebene und zusammenhängende Oberfläche, meistens aber sind sie von Spalten durchzogen. Ueber die Oberfläche wie durch die Spalten rieseln unzählige grosse und kleine, durch Schmelzung des Eises gebildete Wasseradern, welche, zu einem Bache vereinigt, am unteren Ende der grösseren Gletscher durch ein hohes, gewölbtes und herrlich blaues Eisthor hervorbrechen.

Auf der Oberfläche des Eises pflegt eine grosse Menge von Steinblöcken und Schutt zu liegen, die sich namentlich längs

der Seitenränder und am unteren Ende der Gletscher zu mächtigen Steinwällen, den sogenannten Seiten- und Endmoränen des Gletschers, aufthürmen. Andere Steinwälle, Mittelmoränen oder Gufferlinien genannt, ziehen sich als dunkle, lange und regelmässige Streifen in der Mitte der Gletscher in Richtung ihrer Länge hin. Sie laufen stets von solchen Punkten aus, wo zwei zusammentreffende Gletscherströme sich vereinigen. Die Mittel-

Fig. 27.

moränen sind an solchen Stellen die Fortsetzungen der vereinigten Seitenmoränen der beiden Gletscher.

Die Bildung der Mittelmoränen wird sehr anschaulich auf beifolgender Ansicht des Unteraargletschers (Fig. 27). Im Hintergrunde sieht man zwei aus verschiedenen Thälern, rechts vom Schreckhorn, links vom Finsteraarhorn, herkommende Gletscherströme. Von ihrer Vereinigungsstelle zieht sich ein Steinwall als Mittelmoräne herab. Links sieht man einzelne grosse Steinblöcke auf Eispfeilern getragen, es sind dies die nannten Gletschertische.

Eine weitere Uebersicht dieser Verhältnisse giebt ein des Eismeeres von Chamouni (Fig. 28), copirt nach F

Das Eismeer ist bekanntlich, seiner Masse nach, d unter den Gletschern der Schweiz, obgleich es vom

gletscher an Länge übertroffen wird. Es sammelt sich von den Schneefeldern der unmittelbar nördlich vom Montblanc gelegenen Berge, von denen mehrere wie Grande Jorasse, Aiguille Verte (*a* Fig. 28 und 29), Aiguille du Géant (*b*), Aiguille du Midi (*c*) und Aiguille du Dru (*d*) nur 2000 bis 3000 Fuss hinter jenem König der europäischen Berge zurück bleiben. Die Schneefelder

Fig. 28.

an den Abhängen der Berge und in den Thalkesseln zwischen denselben sammeln sich in die drei Hauptströme, Glacier du Géant, Glacier de Léchaud und Glacier du Talèfre, welche, schliesslich zusammenfliessend, das Eismeer bilden. Letzteres zieht als ein 2600 bis 3000 Fuss breiter Eisstrom in das Thal von Chamouni hinab, wo aus seinem unteren Ende ein starker Bach, der Arveyron, hervorbricht und sich in die Arve ergiesst. Der unterste Absturz des Eismeeres, der, vom Thale von Chamouni aus sichtbar, eine gewaltige Eiscascade bildet, wird

t, nach einem darunter liegenden

von Chamouni betreten nur den untersten Theil des Eismeeres von dem Wirthshause des Montanvert aus (*m* Fig. 28) und kreuzen den Gletscher an dieser Stelle, um zu dem gegenüber liegenden Häuschen des Chapeau (*n*) zu gelangen. Obgleich man dabei nur einen verhältnissmässig kleinen Theil des Gletschers überschreitet, so lehrt dieser Weg doch sowohl die grossartigen Scenen, als auch die Gefahren und Schwierigkeiten einer Gletscherwanderung genügend kennen.

Um Ihnen eine Anschauung von der Neigung und dem Gefälle des Gletschers zu geben, habe ich in Fig. 29 einen Längsschnitt desselben nach den Nivellements und Messungen von Forbes construirt, mit der Ansicht des rechten Ufers des Gletschers. Die Buchstaben bezeichnen dieselben Objecte, wie in Fig. 28; *p* die Aiguille de Léchaud, *q* die Aiguille Noire, *r* den Mont Tacul. Der Col du Géant *f* ist der niedrigste Punkt in der hohen Felsenmauer, welche das obere Ende der zum Eismeere beitragenden Schneefelder umzieht. Die Basis der Zeichnung entspricht einer Länge von zwei deutschen Meilen; am rechten Ende sind die Meereshöhen in englischen Fussen angegeben. Die Zeichnung zeigt sehr deutlich, dass das Gefälle des Gletschers an den

meisten Stellen nur gering ist. Seine Tiefe musste nach ungefährer Schätzung bestimmt werden, denn sie ist nicht sicher bekannt. Dass sie sehr bedeutend sein muss, geht jedoch aus folgenden vereinzelten und zufälligen Beobachtungen hervor.

Am Ende einer verticalen Felswand des Tacul schiebt sich der Rand des Glacier du Géant als senkrechte 140 Fuss hohe Eiswand hervor. Dadurch ist die Tiefe eines der oberen Arme des Gletschers am Rande gegeben. In der Mitte und nach der Vereinigung der drei Gletscher muss die Tiefe viel erheblicher sein. Etwas unterhalb der Vereinigungsstelle sondirten Tyndall

Fig. 30.

und Hirst bis 160 Fuss Tiefe in einem Moulin, d. h. in einer Höhlung, durch welche die oberflächlichen Gletscherwasser in die Tiefe strömen; die Führer behaupteten, in einer ähnlichen Oeffnung bis zu 350 Fuss Tiefe sondirt zu haben; aber in keinem der Fälle wurde der Boden des Gletschers erreicht. Es erscheint auch bei der gewöhnlich tief mulden- oder spaltenartigen Bodenform der nur von Felswänden gebildeten Thäler höchst unwahrscheinlich, dass auf 3000 Fuss Breite die mittlere Tiefe des Eisstromes nur 350 Fuss betragen solle, sowie auch die Bewegungsweise des Eises das Vorhandensein einer sehr mächtigen zusammenhängenden Eisschicht unter dem gespaltenen Theile des Eises erfordert.

Die Mächtigkeit der Eismassen der grösseren Gletscher zeigt die Ansicht von dem unteren Ende des gewaltigen Gornergletschers bei Zermatt, s. Fig. 30, a. v. S.

Die Oberfläche der meisten Gletscher ist ziemlich schmutzig von den vielen darauffliegenden Steinchen, die sich immer mehr zusammen drängen, je mehr das Eis unter und zwischen ihnen

Fig. 31.

abschmilzt. Das Eis der Oberfläche wird durch Schmelzung bald zerstört und bröckelig. In der Tiefe der Spalten aber zeigt es in seiner Reinheit und Klarheit ein prachtvolles Blau. Spalten, in denen das reine Eis des Inneren sichtbar wi kommen in jeder Grösse vor; sie entstehen als schmale R erweitern sich allmählich zu Schlünden, die viele hundert selbst tausend Fuss lang, zwanzig, fünfzig, selbst hundert Fu und zum Theil unabsehbar tief sind. Ihre verticalen, tiefbl von herabträufelndem Wasser feuchtglänzenden Wände aus k

klarem Eise bilden eines der schönsten Schauspiele, welches die Natur uns darbietet; aber freilich ein Schauspiel, das mit dem aufregenden Interesse der Gefahr stark gewürzt ist.

Nicht überall sind die Gletscher gespalten. Da, wo das Eis gegen ein Hinderniss andrängt, ebenso in der Mitte grosser, sich gleichmässig hinziehender Gletscherströme ist die Oberfläche ganz

Fig. 32.

zusammenhängend. Eine der ebeneren Stellen des Eismeeres beim Montanvert, dessen Schutzhütte im Hintergrunde sichtbar ist, zeigt Fig. 31. Die grösste Zerrissenheit der Gletscherfläche finden wir an solchen Stellen, wo der Gletscher von einer wenig geneigten Stelle seines Bettes auf eine stärker geneigte übergeht. Dort zerreisst das Eis nach allen Richtungen in eine Menge einzelner Blöcke, die durch Abschmelzen in sonderbar geformte spitze Riffe und Pyramiden verwandelt werden, und die von Zeit zu Zeit mit mächtigem Gepolter in die dazwischen liegenden Spalten

hinabstürzen. Von Weitem sieht eine solche Stelle wie ein wilder gefrorener Wasserfall aus und wird deshalb auch Cascade genannt. Eine solche Cascade zeigt der Glacier du Talèfre bei *l*, eine zweite der Glacier du Géant bei *g*, Fig. 28, und eine dritte bildet das untere Ende des Eismeeres. Dieses Ende, der schon genannte Glacier du Bois, welcher von der Thalsohle von Chamounix unmittelbar zur Höhe von 1700 Fuss ansteigt, ist von jeher der Gegenstand der Bewunderung für alle Reisenden gewesen. Eine Ansicht seiner wild zerrissenen Eisblöcke giebt Fig. 32 (a. v. S.).

Wir haben bisher die Gletscher ihrer äusseren Form und Erscheinung nach mit einem Strome verglichen. Diese Aehnlichkeit ist aber nicht nur eine äusserliche, sondern das Eis des Gletschers bewegt sich in der That vorwärts, ähnlich wie das Wasser in einem Strome, nur langsamer. Dass dies geschehen müsse, geht schon aus den Betrachtungen hervor, durch die ich Ihnen die Entstehung eines Gletschers zu erläutern versuchte. Da sein unteres Ende durch Schmelzung fortdauernd vermindert wird, so müsste das Eis bald ganz schwinden, wenn nicht fortdauernd neue Massen von oben her nachrückten, und diese durch die Schneefälle auf den Firnmeeren immer wieder neu ergänzt würden.

Aber wir können uns von der Bewegung der Gletscher bei sorgfältiger Beobachtung auch durch das Auge überzeugen. Zuerst hat sie sich den Bewohnern des Thales, die solchen Gletscher immer vor Augen haben, ihn oft überschreiten und die, um ihren Weg zu finden, die grösseren auf ihm liegenden Steinblöcke als Merkzeichen benutzen, dadurch verrathen, dass diese Wegzeichen im Laufe eines jeden Jahres merklich nach abwärts wandern. Da z. B. auf der unteren Hälfte des Eismeeres von Chamounix das jährliche Fortrücken 400 bis 600 Fuss beträgt, so mussten solche Verschiebungen bemerkt werden, trotz der Langsamkeit, mit der sie erfolgen, und trotz der chaotischen Verwirrung von Eisspalten und Steinmassen, die auf dem Gletscher herrscht.

Ausser den Steinen werden auch andere Gegenstände, welche zufällig auf den Gletscher gerathen sind, mit fortgeschleppt. Im Jahre 1788 verbrachte der berühmte Genfer Naturforscl Saussure mit seinem Sohne und einer Karawane von Trägern Führern sechszehn Tage auf dem Col du Géant; beim Hera an den Felsen zur Seite der Cascade des Glacier du (*g*, Fig. 33) liessen sie eine hölzerne Leiter zurück. Es Stelle am Fusse der Aiguille Noire, wo die vierte Guffe

Eismeeres beginnt; diese Linie bezeichnet gleichzeitig die Richtung, in welcher das Eis von dieser Stelle aus fortwandert. Im Jahre 1832, also 44 Jahre später, wurden Bruchstücke dieser Leiter durch Forbes und andere Reisende unterhalb des Vereinigungspunktes der drei Gletscher des Eismeeres in der genannten Gufferlinie, bei *s*, Fig. 33, gefunden, woraus sich ergab,

Fig. 33.

dass jene Theile des Gletschers in jedem Jahre durchschnittlich 375 Fuss abwärts gewandert waren.

Im Jahre 1827 hatte sich Hugi auf der Mittelmoräne des Unter-Aargletschers eine Hütte gebaut, um dort Beobachtungen anzustellen; die Lage dieser Hütte wurde von ihm selbst und später durch Agassiz von Neuem bestimmt; sie fand sich jedes Jahr weiter abwärts geschoben; 14 Jahre später, im Jahre 1841, stand sie 4884 Fuss tiefer, hatte also in jedem Jahre im Durchschnitt 349 Fuss zurückgelegt. Eine etwas geringere Bewegung

fand Agassiz nachher an seiner eigenen Hütte, die er auf demselben Gletscher errichtet hatte. Für die bisher erwähnten Beobachtungen war eine lange Zwischenzeit nöthig. Verfolgt man aber die Bewegung der Gletscher mit genauen Messinstrumenten, z. B. mit Theodolithen, so braucht man nicht Jahre zu warten, sondern ein einziger Tag genügt, um die Bewegung des Eises zu erkennen.

Dergleichen Beobachtungen sind in neuerer Zeit, namentlich von Forbes und Tyndall, angestellt worden. Danach rückt die Mitte des Eismeeres im Sommer mit einer Geschwindigkeit von 20 Zoll auf den Tag vor, die gegen die untere Endcascade hin sich bis auf 35 Zoll täglich steigert. Im Winter ist die Geschwindigkeit etwa halb so gross. An den Seitenrändern des Gletschers und in seinen tieferen Schichten ist sie, wie bei einem Wasserflusse, beträchtlich kleiner als in der Mitte seiner Oberfläche.

Auch die oberen Zuflüsse des Eismeeres haben eine geringere Bewegung; der Glacier du Géant rückt 13 Zoll, der Glacier du Léchaud $9^1/_2$ Zoll täglich vor. Die Geschwindigkeit ist überhaupt in verschiedenen Gletschern sehr verschieden, je nach ihrer Grösse, ihrer Neigung, der Masse des Schneefalls und anderen Umständen.

Eine solche ungeheure Eismasse rückt also vor, ganz allmählich und leise, dem flüchtigen Beobachter nicht merklich, Stunde für Stunde etwa einen Zoll — 120 Jahre braucht das Eis des Col du Géant, um das untere Ende des Eismeeres zu erreichen —, aber dabei schreitet sie vorwärts mit einer unaufhaltsamen Gewalt, vor welcher Hindernisse, welche Menschen ihr entgegensetzen könnten, wie Strohhalme zerknicken, und von der selbst die granitenen Felswände des Thales deutlich erkennbare Spuren an sich tragen. Wenn nach einer Reihe feuchter Jahre bei reichlichem Schneefall in der Höhe das untere Ende eines Gletschers vorrückt, so zermalmt es nicht nur menschliche Wohnungen und kräftige Baumstämme, sondern der Eisstrom schiebt auch die aus kolossalen Steinblöcken aufgethürmten Wälle seiner Endmoräne vor sich her, ohne durch sie einen in Betracht kommenden Widerstand zu erfahren.

Ein wahrhaft grossartiges Schauspiel diese Bewegung, so leise, so stetig und so unwiderstehlich und gewaltig!

Erwähnt sei hier, dass aus der beschriebenen Bewegungsweise der Gletscher Ort und Richtung der Spaltenbildung sich leicht ergiebt. Da nämlich nicht alle Schichten des Gletschers gleich schnell vorwärts schreiten, so bleiben einige Punkte desselben gegen andere zurück, z. B. die Ränder gegen die Mitte. Dadurch

wächst fort und fort die Entfernung eines am Rande gelegenen Punktes von einem Punkte der Mitte, der anfangs mit ihm in gleicher Höhe lag, nachher aber sich schneller abwärts bewegt; da das Eis zwischen je zwei solchen Punkten sich nicht ihrer wachsenden Entfernung entsprechend dehnen kann, zerreisst es und bildet Spalten, wie sie die in Fig. 34 gegebene Abbildung des Gornergletschers zeigt. Es würde zu weit führen, wollte ich Ihnen die Bildung der einzelnen regelmässigeren Spaltensysteme

Fig. 34.

erklären, wie sie sich an gewissen Stellen aller Gletscher zu entwickeln pflegen; es mag genügen zu erwähnen, dass die Folgerungen aus den angegebenen Betrachtungen mit den Beobachtungen an den Gletschern übereinstimmen.

Noch will ich darauf aufmerksam machen, welche ausserordentlich kleinen Verschiebungen genügen, um Hunderte von Spalten im Eise hervorzubringen. Der Querschnitt des Eismeeres z. B. (Fig. 35 bei *g*, *c*, *h*) zeigt Stellen, wo eine kaum merkliche Aenderung von 2 bis 4 Winkelgraden in der Neigung der Oberfläche des Eises vorkommt. Diese genügt, um ein System quer-

laufender Spalten an der Oberfläche zu erzeugen. Tyndall hat hervorgehoben und durch Rechnungen und Messungen bestätigt, dass die Eismasse der Gletscher nicht im geringsten Maasse nachgiebig gegen Dehnung ist, sondern dass sie unter dem Einflusse einer solchen stets aus einander reisst.

Fig. 35.

Auch die Vertheilung der Steine auf der Oberfläche erklärt sich leicht, wenn wir die Bewegung der Gletscher berücksichtigen. Diese Steine sind Trümmer der Berge, zwischen denen der Gletscher fliesst. Abgesprengt, theils durch Verwitterung des Gesteins, theils durch Gefrieren des Wassers in dessen Spalten, fallen sie, und zwar meist auf den Rand der Eismasse. Dort bleiben sie entweder auf der Oberfläche liegen, oder sie wühlen sich tief in den Schnee ein, kommen alsdann durch Abschmelzen der oberflächlichen Lagen von Eis und Schnee wieder zu Tage und drängen sich schliesslich am unteren Ende des Gletschers zusammen, wo das Eis zwischen ihnen mehr und mehr geschwunden ist. Die Blöcke, welche vom Eise allmählich herunter getragen werden, sind zum Theil von kolossaler Grösse.

Die Steinblöcke bewegen sich fort in Linien, welche einander sowie der Längsrichtung des Gletschers nahehin parallel sind. Diejenigen also, welche in der Mitte des Eisstromes liegen, bleiben in der Mitte; diejenigen, welche am Rande liegen, bleiben am Rande. Die letzteren sind die zahlreiche-

ren, weil während des ganzen Laufes des Gletschers immer neue Steine auf den Rand, nicht aber auf die Mitte stürzen können. So bilden sich auf dem Rande der Eismasse die Seitenmoränen, deren Blöcke sich theils mit dem Eise bewegen, theils aber herabgleiten und auf dem festen Felsboden neben dem Eise liegen bleiben. Wenn zwei Gletscherströme sich vereinigen, kommen ihre zusammenstossenden Seitenmoränen auf die Mitte des vereinigten Eisstromes zu liegen. Sie rücken auf diesem als Mittelmoräne, einander und den Ufern des Stromes parallel, vorwärts, und zeigen bis zum unteren Ende die Grenzlinie, welche das Eis des einen und des anderen Gletscherarmes trennt. Solche Grenzlinien sind sehr merkwürdig, weil sie zeigen, in welchen regelmässigen parallelen Bändern die einzelnen neben einander liegenden Theile des Eisstromes abwärts gleiten. Ein Blick auf die Karte des Eismeeres und dessen vier Mittelmoränen macht dies deutlich.

Auf dem Glacier du Géant und auf seiner Fortsetzung im Eismeere zeichnen die auf der Oberfläche des Eises verstreuten Steine in abwechselnd graueren und weisseren Bändern eine Art von Jahresringen des Eises ab, die zuerst von Forbes bemerkt wurden. Dadurch, dass in der Cascade bei *g*, Fig. 35, im Sommer mehr Eis herabgleitet als im Winter, wird die Oberfläche des Gletschers unterhalb der Cascade terrassenförmig, und da die nördlichen Abhänge dieser Terrassen weniger abschmelzen, als ihre oberen ebenen Flächen, so zeigen jene reineres Eis als diese. Nach Tyndall entstehen die Schmutzbänder auf diese Weise. Anfangs laufen sie ziemlich gestreckt quer über den Gletscher; da jedoch ihre Mitte schneller fortrückt als ihre Enden, so bekommen sie weiter unten eine bogenförmige Gestalt, wie in der Karte Fig. 33 angedeutet ist. So zeigen sie dem Beschauer durch ihre Krümmung unmittelbar die verschiedene Geschwindigkeit, mit der das Eis in verschiedenen Stellen seines Stromlaufes vorrückt.

Eine besondere Rolle endlich spielen andere Steine, die in die untere Fläche der Eismasse eingebacken und theils durch Spalten hinab gestürzt, theils vom Boden des Thales losgelöst sind. Diese Steine werden mit dem Eise allmählich über den Boden des Gletscherthales hingeschoben und gleichzeitig durch die ungeheure Last des über ihnen ruhenden Eises gegen diesen Boden angepresst. Beide, der Felsboden und die Steine, sind von gleicher Härte und werden durch ihre gegenseitige Reibung zu Staub zermalmt, mit einer Gewalt, gegen welche jede menschliche Kraftleistung verschwindet. Das Product dieser Reibung ist ein äusserst feiner Stein-

staub, der, vom Wasser fortgeschwemmt, unten im Gletscherbach zum Vorschein kommt und diesem ein trübes weissliches oder gelbliches Aussehen verleiht. Die Felsen des Thalbodens dagegen, an denen der Gletscher Jahr aus Jahr ein seine abreibende Kraft ausübt, werden abgeschliffen, wie von einer ungeheuren Polirmaschine, und bleiben als glatte rundliche Höcker stehen. So sehen wir sie am Rande jetzt bestehender Gletscher zum Vorschein kommen, wenn deren Eismasse nach einer Reihe heisser und trockener Jahre sich etwas zurückzieht; in viel grösserer Ausdehnung aber zeigen sich solche Reste alter riesiger Gletscher in den unteren Theilen vieler Alpenthäler. Namentlich im Thale der Aar sind die hoch hinauf abgeschliffenen Felswände äusserst charakteristisch. Dort befinden sich auch die berühmten polirten Steinplatten, die nur durch eingehauene Vertiefungen gangbar gemacht werden konnten.

Neben diesen abgeschliffenen Felsen sind es auch alte Moränendämme und fortgeschleppte Steinblöcke, welche die ungeheure frühere Ausdehnung der Gletscher erkennen lassen. Die durch Gletscher fortgetragenen Steinblöcke unterscheiden sich von den durch Wasser herabgewälzten Steinen durch ihre ungeheure Grösse, durch die vollkommene Erhaltung aller ihrer Ecken, die nicht abgerollt sind, und namentlich dadurch, dass sie vom Gletscher genau in derselben Reihenfolge neben einander abgelagert werden, wie die Felsarten, denen sie entnommen sind, oben im Gebirgskamm anstehen, während alle Steine, die durch Wasserströme fortgerollt sind, stets unter einander gemischt sind.

Gestützt auf diese Kennzeichen, sind die Geologen im Stande gewesen nachzuweisen, dass die Gletscher von Chamounix, vom Monte Rosa, vom Gotthard und den Berner Alpen ehemals durch die Thäler der Arve, der Rhone, der Aare und des Rheins bis in den ebeneren Theil der Schweiz und bis zum Jura vordrangen, wo sie ihre Blöcke in der Höhe von mehr als 1000 Fuss über dem jetzigen Niveau des Sees von Neufchatel abgelagert haben. Aehnliche Spuren alter Gletscher findet man auf den Gebirgen der britischen Inseln und der skandinavischen Halbinsel.

Auch das Treibeis der nordischen Meere ist Gletschereis. Es wird von den Gletschern Grönlands in das Meer hin geschoben, löst sich von der übrigen Eismasse der Gletsch und schwimmt davon. In der Schweiz finden wir eine solch eisbildung in kleinerem Maassstabe auf dem Märjelensee, u sich ein Theil der Eismassen des grossen Aletschgletschers hi schiebt. Steinblöcke, die im Treibeis liegen, können grosse

über das Meer machen. Wahrscheinlich ist die ungeheure Zahl von Granitblöcken, welche sich in der norddeutschen Ebene finden, und deren Granit den skandinavischen Gebirgen angehört, durch Treibeis hinübergetragen worden, in derselben Zeitperiode, als die Gletscher der europäischen Gebirge eine so ungeheure Ausdehnung hatten.

Ich muss mich leider mit diesen wenigen Andeutungen über die alte Geschichte der Gletscher begnügen, und zu den Vorgängen in den jetzigen Gletschern zurückkehren.

Aus den Thatsachen, die ich Ihnen vorgeführt habe, ergiebt sich, dass das Eis eines Gletschers langsam fliesst, ähnlich dem Strome einer sehr zähflüssigen Substanz, wie etwa Honig, Theer oder dicker Thonbrei. Die Eismasse gleitet nicht nur einfach über den Boden hin, wie ein fester Körper, der einen Abhang hinabrutscht, sondern sie biegt sich und verschiebt sich in sich selbst; und obgleich sie dabei auch über den Boden des Thales hingleitet, so werden doch die Theile, welche Boden und Wände des Thales berühren, durch die starke Reibung sichtlich aufgehalten; dagegen bewegt sich die Mitte der Oberfläche des Gletschers, welche dem Boden und den Wänden des Thales am fernsten ist, am schnellsten. Es waren zuerst Rendu, ein savoyischer Geistlicher, und der berühmte schottische Naturforscher Forbes, welche die Aehnlichkeit der Gletscher mit dem Strome einer zähflüssigen Substanz hervorhoben.

Sie werden nun verwundert fragen: Wie ist es möglich, dass die sprödeste und zerbrechlichste aller bekannten festen Substanzen, das Eis, im Gletscher gleich einer zähflüssigen Masse fliesse? Sie werden vielleicht geneigt sein, dies für eine der unnatürlichsten und abenteuerlichsten Behauptungen zu erklären, welche je von Naturforschern aufgestellt worden ist. Ich will auch sogleich einräumen, dass die Naturforscher selbst durch diese Ergebnisse ihrer Untersuchungen nicht wenig in Verlegenheit gesetzt waren. Aber die Thatsachen waren da und liessen sich nicht wegläugnen. Wie diese Art von Bewegung des Eises zu Stande kommen könne, blieb lange durchaus räthselhaft, um so mehr, als die bekannte Brüchigkeit des Eises sich auch in den Gletschern durch die zahlreichen Spaltenbildungen zeigte, und weil, wie Tyndall richtig hervorhob, darin wieder ein wesentlicher Unterschied der Eisströme von dem Fluss der Lava, des Theers, des Honigs oder eines Schlammstromes liegt.

Die Lösung dieses wunderlichen Räthsels ergab sich — wie das in den Naturwissenschaften so oft vorkommt — aus scheinbar

weit abliegenden Untersuchungen über die Natur der Wärme. Diese bilden eine der wichtigsten Errungenschaften der neueren Physik und werden gewöhnlich unter dem Namen der mechanischen Wärmetheorie zusammengefasst. Unter einer grossen Zahl von Folgerungen über die Beziehungen der verschiedensten Naturkräfte zu einander ergeben die Grundsätze der mechanischen Wärmetheorie auch gewisse Schlüsse über die Abhängigkeit des Gefrierpunktes des Wassers von dem Druck, welchem Eis und Wasser ausgesetzt sind.

Wir bestimmen bekanntlich den einen festen Punkt unserer Thermometerscala, den wir den Gefrierpunkt oder Null Grad nennen, dadurch, dass wir das Thermometer in ein Gemisch von reinem Wasser und Eis setzen. Wasser kann — wenigstens, wenn es mit Eis in Berührung ist — nicht weiter abgekühlt werden als bis zum Gefrierpunkte, ohne selbst zu Eis zu werden; Eis kann nicht höher erwärmt werden, als bis zum Gefrierpunkte, ohne zu schmelzen. Eis und Wasser neben einander können also nur bei der einzigen festen Temperatur von Null Grad bestehen.

Sucht man ein solches Gemisch zu erwärmen durch eine untergesetzte Flamme, so schmilzt das Eis; aber die Temperatur des Gemisches wird durch die zugeleitete Wärme nicht über Null Grad erhöht, so lange noch etwas Eis ungeschmolzen ist. Durch die zugeleitete Wärme wird also Eis von Null Grad in Wasser von Null Grad verwandelt, während für das Thermometer keine merkliche Temperaturerhöhung eingetreten ist. Die Physiker sagen deshalb, die zugeleitete Wärme sei latent geworden, und Wasser von Null Grad enthalte eine gewisse Menge latenter Wärme mehr, als Eis von derselben Temperatur.

Umgekehrt, wenn wir dem Gemisch von Eis und Wasser noch weiter Wärme entziehen, so gefriert allmählich das Wasser; so lange aber noch etwas ungefrorenes Wasser da ist, bleibt die Temperatur von Null Grad bestehen. Das Wasser von Null Grad hat dabei seine latente Wärme abgegeben und ist in Eis von Null Grad übergegangen.

Ein Gletscher ist nun eine Eismasse, welche überall [illegible] Wasseräderchen durchrieselt ist, und welche deshalb in [illegible] Innern überall die Temperatur des Gefrierpunktes hat. [illegible] die tieferen Schichten der Firnmeere scheinen auf den [illegible] die in unserer Alpenkette vorkommen, überall dieselbe Tem[illegible] zu haben. Denn, wenn auch der frisch gefallene Schn[illegible]

Höhen meist kälter als Null Grad sein mag, so schmelzen die ersten Stunden warmen Sonnenscheins seine Oberfläche und bilden Wasser, welches in die tieferen kälteren Schichten einsickert und in diesen so lange wieder gefriert, bis sie durch und durch auf die Temperatur des Gefrierpunktes gebracht sind. Diese Temperatur bleibt dann unveränderlich dieselbe; denn durch die warmen Sonnenstrahlen kann die Oberfläche des Eises wohl abgeschmolzen, aber nicht über Null Grad erwärmt werden, und in die schlecht wärmeleitenden Schnee- und Eismassen dringt die Winterkälte nicht tief ein. Somit behält das Innere der Firnmeere wie der Gletscher unveränderlich die Temperatur des Gefrierpunktes.

Die Temperatur des Gefrierpunktes des Wassers kann jedoch durch starken Druck verändert werden. Es wurde dies zuerst von James Thomson in Belfast und fast gleichzeitig von Clausius in Zürich aus der mechanischen Wärmetheorie gefolgert, ja die Grösse dieser Veränderung konnte sogar mittelst derselben Schlüsse richtig vorausgesagt werden. Es sinkt nämlich für den Druck je einer Atmosphäre der Gefrierpunkt um $^1/_{144}$ eines Reaumur'schen Grades. Der berühmte Physiker William Thomson bestätigte die Folgerung durch den Versuch, indem er ein Gemisch von Eis und Wasser in einem passenden festen Gefässe comprimirte. Das Gemisch wurde in der That kälter und kälter, je mehr der Druck gesteigert wurde, und zwar genau um so viel kälter, als die mechanische Wärmetheorie es verlangte.

Wenn unter Einwirkung des Druckes ein Gemisch von Wasser und Eis kälter wird, als es vorher war, ohne dass ihm dabei Wärme entzogen wird, so kann das nur dadurch geschehen, dass freie Wärme latent wird, d. h., dass etwas Eis in dem Gemische schmilzt und zu Wasser wird. Darin liegt auch der Grund, dass mechanischer Druck auf den Gefrierpunkt einwirken kann. Eis nimmt mehr Raum ein, als das Wasser, aus dem es entsteht. Wenn Wasser in einem verschlossenen Gefässe gefriert, so sprengt es bekanntlich nicht nur gläserne Flaschen, sondern gelegentlich sogar eiserne Bomben. Dadurch also, dass in dem zusammengepressten Gemische von Eis und Wasser etwas Eis schmilzt und zu Wasser wird, verringert sich das Volumen der Masse. Die Masse kann dem Drucke, der auf ihr lastet, mehr nachgeben, als sie es ohne eine solche Veränderung des Gefrierpunktes gekonnt hätte. Der mechanische Druck begünstigt hier, wie dies meistentheils bei der Wechselwirkung verschiedener Natur-

kräfte gegen einander zu geschehen pflegt, das Eintreten einer solchen Veränderung, nämlich der Schmelzung, welche der Entfaltung seiner eigenen Wirksamkeit günstig ist.

Bei dem erwähnten Versuche von William Thomson waren Wasser und Eis zusammen in einem festen Gefässe, aus dem nichts entweichen konnte, eingeschlossen. Etwas anders gestaltet sich die Sache, wenn, wie in den Gletschern, das zwischen dem zusammengepressten Eise befindliche Wasser durch Spalten entweichen kann. Dann wird zwar das Eis gepresst, aber nicht das Wasser, welches ausweicht. Das gepresste Eis wird kälter, entsprechend der Erniedrigung seines Gefrierpunktes durch den Druck. Der Gefrierpunkt des Wassers aber, welches nicht zusammengepresst ist, wird nicht erniedrigt. So haben wir unter diesen Umständen Eis, das kälter ist als Null Grad, in Berührung mit Wasser von Null Grad. Die Folge davon wird sein, dass rings um das gepresste Eis fortdauernd Wasser gefriert und neues Eis sich bildet, während dafür ein Theil des gepressten Eises fortschmilzt.

Dies geschieht schon, wenn zwei Eisstücke an einander gepresst werden; sie werden dabei an ihrer Berührungsfläche durch das gefrierende Wasser fest mit einander in ein zusammenhängendes Stück Eis vereinigt. Bei starkem Druck, der das Eis auch stärker erkältet, erfolgt die Vereinigung schnell; sie tritt auch bei sehr schwachem Drucke ein, jedoch erst nach längerer Zeit. Faraday, der dieses Phänomen entdeckt hat, nannte es Regelation des Eises. Ueber die Erklärung desselben ist viel gestritten worden; ich habe Ihnen hier diejenige vorgetragen, welche ich für die genügendste halte.

Dieses Zusammenfrieren zweier Eisstücke bringt man sehr leicht zu Stande mit zwei beliebig gestalteten Stücken, die aber nicht kälter als Null Grad sein dürfen und die am besten schon im Schmelzen begriffen sind[1]). Wenn man sie nur wenige Augenblicke hindurch kräftig an einander presst, so haften sie an einander. Aber ein schwacher Druck genügt, wenn man die beiden Eisstücke lange Zeit in gegenseitiger Berührung lässt[2]). Je ebener die sich berührenden Flächen sind, desto fester verschmelzen sie mit einander.

---

[1]) In der Vorlesung wurde eine Reihe kleiner Eiscylinder, die nach einer später zu beschreibenden Methode erzeugt waren, mit ihren ebenen Endflächen auf einander gepresst, und so ein cylindrischer Stab von Eis hergestellt.

[2]) Siehe die Zusätze am Schlusse von Band I.

Diese Eigenschaft des schmelzenden Eises wird auch von den Knaben ausgebeutet, wenn sie Schneebälle und Schneemänner machen. Wir wissen, dass dies nur gelingt, wenn der Schnee schon im Schmelzen begriffen, oder wenn er nur wenig kälter als Null Grad ist, so dass er durch die Wärme der Hand leicht bis zu dieser Temperatur erwärmt werden kann. Sehr kalter Schnee ist ein trockenes loses Pulver und haftet nicht zusammen.

Was nun bei den Schneebällen im Kleinen vorgeht, das vollzieht sich im allergrössten Maasstabe in den Gletschern. Die tieferen Lagen des ursprünglich lockeren und feinpulverigen Firnschnees werden zusammengedrückt durch die über ihnen liegenden, oft viele hundert Fuss aufgethürmten Schneemassen und ballen sich unter diesem Druck zu immer festerem und dichterem Gefüge zusammen. Ursprünglich besteht der frisch gefallene Schnee aus zarten, mikroskopisch feinen Eisnadeln, die zu ungemein zierlichen, sechsstrahligen, federähnlich ausgefransten Sternen zusammengesetzt sind. Dadurch, dass von den oberen Lagen der Schneefelder her, so oft diese der Sonnenwärme ausgesetzt sind, Wasser einsickert, und dieses, wo es in den tieferen Lagen noch kälteren Schnee antrifft, wieder gefriert, wird der Firn zuerst körnig und auf die Temperatur des Gefrierpunktes gebracht. Indem nun das Gewicht der oben lagernden Massen immer mehr und mehr wächst, verwandelt sich der Schnee durch festeres Aneinanderhaften seiner einzelnen Körnchen endlich in eine ganz dichte und harte Eismasse.

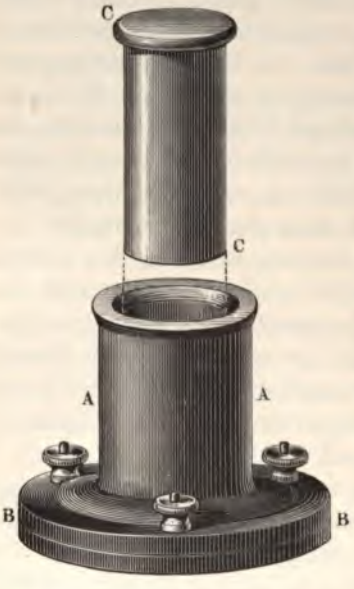
Wir können diese Verwandlung von Schnee in Eis auch künstlich vollziehen, wenn wir einen entsprechenden Druck anwenden.

Sie sehen hier (Fig. 36) ein cylindrisches Gefäss AA aus Gusseisen; die Bodenplatte BB wird durch drei Schrauben festgehalten und kann abgenommen werden, um die in dem Gefäss gebildeten Eiscylinder heraus zu nehmen. Nachdem das Gefäss eine Weile in Eiswasser gelegen hat und bis auf Null Grad abgekühlt ist, wird es mit Schnee vollgestopft, und dann der cylindrische Stempel CC, der die innere Höhlung ausfüllt, aber noch leicht in ihr gleitet, mit Hülfe einer hydraulischen Presse hineingetrieben. Die angewendete Presse erlaubt den Druck, dem der Schnee ausgesetzt ist, bis auf fünfzig Atmosphären zu steigern. Natürlich schwindet der lockere Schnee unter einem so gewaltigen Drucke in ein sehr kleines Volumen zusammen. Man lässt mit dem Drucke nach, nimmt den Stempel heraus, füllt den leeren Theil des Cylinders wieder mit Schnee an, presst wieder, und

fährt so fort, bis die ganze Höhlung der Form mit Eismasse angefüllt ist, die dem Drucke nicht mehr nachgiebt. Wenn ich nun den gepressten Schnee herausnehme, werden Sie sehen, dass er zu einem ganz harten, scharfkantigen und trübe durchscheinenden Eiscylinder geworden ist. Wie hart er ist, werden Sie an dem Krachen hören, mit dem er zerschellt, wenn ich ihn gegen den Boden schleudere.

So wie der Firnschnee in den Gletschern zu dichtem Eis zusammengepresst wird, so werden auch fertig gebildete unregelmässige Eisstücke an vielen Stellen wieder in dichtes klares Eis vereinigt. Am auffallendsten geschieht dies am Fusse der Gletschercascaden. Es kommen Gletscherfälle vor, wo ein oberer Theil des Gletschers an einer steilen Felswand endigt, und wo seine Eisblöcke nach einander als Lawinen über den Rand dieser Wand hinabstürzen. Das Haufwerk von zerschellten Eisblöcken, welches sich in Folge davon am Fusse der Felswand ansammelt, vereinigt sich unten wieder zu einer zusammenhängenden dichten Eismasse, die ihren Weg als Gletscher fortsetzt. Häufiger noch als solche Cascaden, wo der Gletscherstrom ganz abreisst, sind solche Stellen, wo der Thalboden sich schneller senkt, wie die schon vorher erwähnten Stellen des Eismeeres Fig. 33 bei *g*, der Cascade des Glacier du Géant bei *i* und der grossen Endcascade des Glacier des Bois bei *h*. Da zerspaltet das Eis in Tausende von Bänken und Klippen, die sich doch wieder am unteren Ende der steileren Senkung zu einer zusammenhängenden Masse vereinigen.

Fig. 36.



Auch dies können wir nachmachen in unserer eisernen For Ich werfe statt des Schnees eine Anzahl unregelmässig geforn Eisstückchen hinein und presse sie zusammen; fülle dann Eisstücke nach, presse wieder und fahre damit fort, bis die gefüllt ist. Wenn ich die Masse herausnehme, bildet sie

zusammenhängenden festen Cylinder von ziemlich klarem Eise, welcher vollkommen scharfkantig ausgepresst ist und sich genau der inneren Fläche anfügt.

Dieser von Tyndall zuerst ausgeführte Versuch zeigt, dass auch ein fertiger Eisblock wie Wachs in eine jede beliebige Form gepresst werden kann. Es wäre nun denkbar, dass der Druck im Inneren der Presse einen solchen Block erst in feines, sich in jede Ecke der Form einfügendes Pulver zermalmte, und dass dieses Eispulver sich alsdann, wie Schnee, durch Zusammenfrieren wieder vereinigte. Es wäre um so mehr denkbar, als man in der That, während die Presse angetrieben wird, ein fortdauerndes Knarren und Knacken des Eises im Inneren der Form hört. Das Aussehen eines aus Eisblöcken gepressten Cylinders kann uns indessen belehren, dass er nicht in dieser Weise entstanden ist. Das Eis, aus dem er besteht, ist nämlich klarer als das aus Schnee entstandene Eis; man erkennt in ihm die einzelnen dazu verwendeten grösseren Eisstücke wieder, freilich in veränderter und plattgepresster Form. Am schönsten zeigt sich dies, wenn man klare Eisstücke in die Form legt und die übrig bleibenden Hohlräume mit Schnee vollstopft. Dann besteht der Cylinder aus abwechselnden Schichten klaren und trüben Eises; ersteres von den Eisstücken, letzteres vom Schnee herrührend. Die klaren Eisstücke zeigen sich aber auch in diesem Falle als zusammengepresste platte Scheiben.

Diese Beobachtungen lehren also, dass das Eis nicht vorher zertrümmert zu sein braucht, um sich in die vorgeschriebene Form zu fügen, sondern dass es nachgeben kann, ohne seinen Zusammenhang verloren zu haben. Wir können uns davon in noch viel auffallenderer Weise überzeugen und zugleich einen besseren Einblick in den Grund der Nachgiebigkeit des Eises gewinnen, wenn wir dasselbe nicht in der verschlossenen, undurchsichtigen Form, sondern frei zwischen zwei ebenen Holzplatten zusammenpressen.

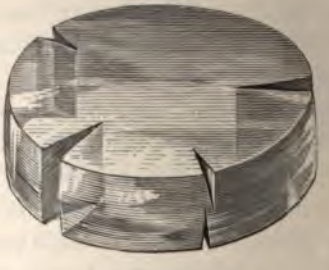
Ich stelle zunächst ein unregelmässig cylindrisches Stück natürlichen Eises mit zwei ebenen Endflächen zwischen die Platten der Presse. Ich treibe die Presse an; durch den Druck wird der Block zerbrochen; jeder Riss, der sich bildet, läuft durch die ganze Dicke desselben; der Block zerfällt in einen Haufen von grösseren Trümmern, die noch weiter zerspalten und zerbrechen, indem ich die Presse weiter antreibe. Lasse ich mit dem Drucke nach, so sind alle diese Eistrümmer allerdings durch

Zusammenfrieren wieder zu einer Art unregelmässiger Platte vereinigt, aber man sieht es dem Ganzen an, dass die Form des Eisblockes weniger durch Nachgiebigkeit als durch Zerbrechen verändert worden ist, und dass die einzelnen Bruchstücke ihre Lage gegen einander vollständig geändert haben.

Sehr viel anders gestaltet sich die Sache, wenn ich zwischen die Platten der Presse einen unserer aus Schnee oder Eis gepressten Cylinder stelle. So oft ich die Presse antreibe, hört man ihn knarren und knacken, aber er bricht nicht aus einander, er verändert vielmehr ganz allmählich seine Form, wird immer niedriger, dafür aber breiter, und erst zuletzt, wenn er sich schon in eine ziemlich platte Kreisscheibe verwandelt hat, fängt er an, am

Fig. 37.

Fig. 38.



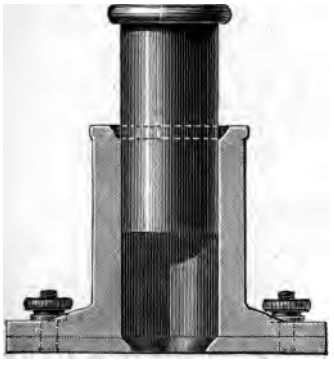
Rande einzureissen und Spalten zu bilden, gleichsam Gletscherspalten im Kleinen. Fig. 37 zeigt Höhe und Durchmesser eines solchen Cylinders in seinem Anfangszustande, Fig. 38 dieselben nach der Einwirkung der Presse.

Eine noch stärkere Probe für die Nachgiebigkeit des Eises gewinnen wir, wenn wir einen unserer in der Form gepressten Cylinder durch eine enge Oeffnung treiben. Ich setze dazu an die vorher beschriebene cylindrische Form eine Bodenplatte an, welche eine conisch sich verengernde Durchbohrung hat. Der Durchmesser der äusseren Oeffnung dieser Bodenplatte beträgt nur $^2/_3$ vom Durchmesser der cylindrischen Höhlung der Form. (Siehe Querschnitt Fig. 39.) Wenn ich nun in die Form einen de vorher darin gepressten Eiscylinder einsetze, und den St antreibe, so wird das Eis gezwungen, sich durch die Oeffnung in der Bodenplatte hindurch zu drängen. Man anfangs als soliden Cylinder von dem Durchmesser der O

austreten. Da aber in der Mitte das Eis schneller nachdrängt als an den Rändern der Oeffnung, so wölbt sich die freie Endfläche des Cylinders; sein Ende verdickt sich, so dass es nicht mehr durch die Oeffnung zurückgezogen werden kann, und spaltet endlich auf. Fig. 40 *a*, *b*, *c*, zeigt eine Reihe von Formen, die in dieser Weise zu Stande kommen.

Auch in diesem Falle zeigen die Spalten des hervorquellenden Eiscylinders eine auffallende Aehnlichkeit mit den longitudinalen Spalten, die einen Gletscherstrom zertheilen, wo ein solcher sich durch ein enges Felsenthor in ein weiteres Thal hinausdrängt [1]).

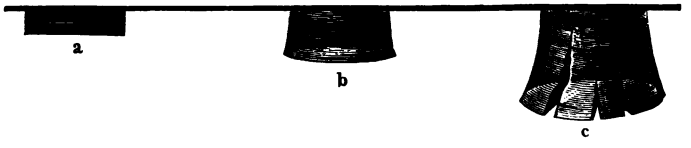
Fig. 39.



In den beschriebenen Fällen sehen wir eine Formveränderung des Eises vor unseren Augen sich vollziehen, wobei der Eisblock im Ganzen seinen Zusammenhang behält, ohne in einzelne Stücke zu zerspringen. Der spröde Eisblock giebt vielmehr nach wie Wachs.

Die genauere Betrachtung eines klaren, aus durchsichtigen Eisstücken zusammengepressten Cylinders, in den Momenten, wo wir die Presse antreiben, lässt uns erkennen, was in seinem Inneren geschieht. Wir sehen dann eine unermessliche Zahl äusserst

Fig. 40.



feiner verzweigter Sprünge wie eine trübe Wolke durch ihn hinschiessen, die, sobald wir die Presse ruhen lassen, zum grossen Theil, wenn auch nicht ganz, in den nächsten Augenblicken wieder verschwinden. Ein solcher umgepresster Block ist unmittelbar nach dem Versuche merklich trüber als vorher und die

[1]) Bei diesem Versuche verbreitete sich die niedrigere Temperatur des gepressten Eises zuweilen so weit durch die eiserne Form, dass das Wasser in dem Spalt zwischen der Bodenplatte und dem Cylinder zu einem dünnen Eisblatt gefror, obgleich sowohl die Eisstücke wie die eiserne Form vorher in Eiswasser lagen und also nicht kälter als 0° waren.

Trübung rührt, wie man durch die Loupe erkennen kann, von einer grossen Zahl haarfeiner weisslicher Linien her, welche das Innere der klaren Eismasse durchziehen. Diese Linien sind der optische Ausdruck äusserst feiner Spalten [1]), welche sich durch die Masse des Eises hinziehen.

Wir dürfen daraus schliessen, dass der gepresste Eisblock von einer grossen Zahl feiner Sprünge und Spalten durchrissen ist, dass er dadurch nachgiebig wird, dass seine Theilchen sich ein wenig verschieben und sich dadurch dem Drucke entziehen, und dass unmittelbar danach der grössere Theil der Spaltensysteme durch Zusammenfrieren wieder verschwindet. Nur da, wo durch die Verschiebung bewirkt ist, dass die Oberflächen der kleinen verschobenen Eispartikelchen nicht genau auf einander passen, bleiben Reste der Spalträume offen und verrathen sich durch Reflexion des eindringenden Lichtes als weissliche Linien und Flächen.

Diese Sprünge und Trennungsflächen in dem gepressten Eise machen sich auch weiter sehr bemerklich, wenn, wie ich vorher aus einander setzte, das Eis unmittelbar nach dem Pressen kälter als Null Grad geworden ist, sich wieder bis zu dieser Temperatur erwärmt und allmählich in das Schmelzen übergeht. Dann füllen sich die Spalten mit Wasser. Solches Eis besteht alsdann aus einer Menge stecknadelknopf- bis erbsengrosser Eiskörner, die mit ihren Vorsprüngen und Zacken eng in einander geschoben sind, während sich die engen Spalten zwischen ihnen mit Wasser gefüllt haben. Ein derartiger aus Eiskörnern gebildeter Block haftet fest zusammen; bricht man von seinen Kanten kleine Eistheilchen los, so zeigen sich diese in Gestalt vieleckiger Körnchen. Genau dieselbe Zusammensetzung zeigt schmelzendes Gletschereis, nur dass die Stücke, aus denen es zusammengesetzt ist, grösser sind, als in dem künstlich gepressten Eise, und die Grösse von Taubeneiern erreichen.

---

[1]) Diese Spalten sind wahrscheinlich ohne Inhalt und luftleer; denn sie bilden sich ebenso aus, wenn man klare luftfreie Eisstücke in der ganz mit Wasser gefüllten eisernen Form zusammenpresst, wo gar keine Luft zu den Eisstücken zutreten kann. Dass dergleichen luftfreie Spalträume im Gletschereis vorkommen, hat schon Tyndall nachgewiesen. Wenn das gepresste Eis später langsam zerschmilzt, füllen sich diese Spalten vollständig mit Wasser aus, ohne dass Luftblasen zurückbleiben. Dann werden sie aber sehr viel weniger sichtbar, und der ganze Block erscheint daher viel klarer. Eben deshalb können sie im Anfang nicht mit Wasser gefüllt gewesen sein.

Gletschereis und gepresstes Eis erweisen sich also als Substanzen von körniger Structur im Gegensatz zu dem regelmässig krystallinischen Eise, wie es sich auf der Oberfläche ruhiger Gewässer ausbildet. Wir finden hier beim Eise denselben Unterschied, wie zwischen Kalkspath und Marmor, welche beide aus kohlensaurem Kalk bestehen; der Kalkspath bildet aber regelmässige grosse Krystalle, während der Marmor aus unregelmässig zusammen gebackenen krystallinischen Körnern besteht. Im Kalkspath wie im krystallinischen Eise erstrecken sich Sprünge, die man durch ein angesetztes Messer hervorbringt, weit hin durch die Masse, während in dem körnigen Eise ein Sprung, der in einem der Körner, da, wo das Eis nachgeben muss, entsteht, nicht nothwendig über die Grenzen des Kornes hinausreisst.

Eis, das künstlich aus Schnee gepresst wurde, und daher von Anfang an aus unzähligen, sehr feinen Krystallnadeln zusammengesetzt ist, zeigt sich als besonders plastisch. Doch unterscheidet es sich zunächst im Aussehen sehr beträchtlich vom Gletschereise. Es ist sehr trübe, wegen der grossen Menge von Luft, die in der flockigen Masse des Schnees eingeschlossen war, und die in Form feiner Bläschen darin zurückbleibt. Man kann es aber klarer machen, wenn man einen Cylinder solchen Eises zwischen Holzplatten umpresst. Dann entweichen die Luftbläschen als feiner Schaum aus der Oberfläche des Cylinders. Zerbricht man die gebildete Eisscheibe wieder, bringt man die Stücke in die eiserne Form und presst sie wieder in einen Cylinder zusammen, so kann man durch fortgesetztes Umkneten die Luft mehr und mehr aus dem Eise entfernen, dieses also immer klarer machen. In derselben Weise wird auch wohl in den Gletschern die weissliche Firnmasse allmählich in das klare durchsichtige Gletschereis verwandelt.

Endlich, wenn man gebänderte Eiscylinder, die aus Schnee- und Eisstücken zusammengepresst sind, zu Scheiben auspresst, so werden auch diese Scheiben fein gebändert, indem sowohl ihre klaren wie ihre weisslichen Lagen sich gleichmässig strecken.

Dieses gebänderte Eis kommt in vielen Gletschern vor und entsteht, nach Tyndall, wahrscheinlich dadurch, dass Schnee zwischen die Blöcke von Eiscascaden fällt, dass dann diese Mischung von Schnee und klarem Eis im weiteren Verlaufe des Gletschers wieder zusammengepresst und durch die Bewegung der Masse allmählich gestreckt wird; ein Vorgang, der dem künstlich von uns ausgeführten ganz analog ist.

Sie sehen, wie vor dem Auge des Naturforschers der Gletscher

mit seinen wirr über einander gethürmten Eisblöcken, seinen öden, steinigen und schmutzigen Eisflächen, seinen Verderben drohenden Spalten zu einem majestätischen Strome geworden ist, der ruhig und regelmässig wie kein anderer dahinfliesst, der nach fest bestimmten Gesetzen sich verengt, ausbreitet, aufstaut oder brandend und zerschellend an den Abhängen hinunterstürzt. Verfolgen wir ihn schliesslich über sein Ende hinaus, so sehen wir das durch Schmelzung erzeugte Wasser, zu einem starken Bache vereinigt, aus dem Eisportal des Gletschers hervorbrechen und davonströmen. Freilich sieht ein solcher Bach zunächst, wie er unter dem Gletscher zum Vorschein kommt, schmutzig genug aus, weil er allen Steinstaub, den der Gletscher abgeschliffen hat, mit fortschwemmt. Man fühlt sich enttäuscht, wenn man das wunderbar schöne und durchsichtige Eis in trübes Wasser verwandelt sieht. In der That ist aber das Wasser der Gletscherbäche an sich eben so schön und rein wie das Eis, wenn auch zunächst seine Schönheit verhüllt und unsichtbar ist. Man muss diese Bäche wieder aufsuchen, nachdem sie durch einen See gegangen sind, und in diesem ihren Steinstaub abgesetzt haben. Der Genfer, der Thuner, der Vierwaldstätter und der Boden-See, der Lago maggiore, der Comer- und Garda-See werden hauptsächlich durch Gletscherwasser gespeist; die Klarheit und die wunderbar schöne blaue oder blaugrüne Farbe ihres Wassers ist das Entzücken aller Reisenden.

Doch lassen wir die Schönheit und fragen wir nach dem Nutzen, so werden wir noch mehr Grund zur Bewunderung finden. Das hässliche Steinpulver, welches die Gletscherbäche absetzen, ist ein für die Vegetation höchst vortheilhaftes Erdreich. In mechanischer Beziehung äusserst fein zermahlen, bildet es einen vollkommen unerschöpften und an mineralischen Pflanzennährstoffen sehr reichen, jungfräulichen Boden. Die fruchtbaren Schichten feinen Lehmes, der sogenannte Löss, welcher sich durch das ganze Rheinthal bis nach Belgien hinabzieht, ist in der That alter Gletschersteinstaub.

Ferner ist die Bewässerung einer Gegend, welche durch die Schneefelder und Gletscher der Hochgebirge unterhalten wird, ausserordentlich reichlich, erstens weil die feuchte Luft, welche über die kalten Höhen der Gebirge streicht, ihren Wassergehalt dort als Schnee absetzt; zweitens, weil der Schnee im Sommer am schnellsten schmilzt und weil die Quellen, welche von den Schneefeldern herkommen, in der Jahreszeit am reich-

lichsten gespeist werden, in der man des Wassers am meisten bedarf.

So lernen wir die wilden todten Eiswüsten noch von einer anderen Seite kennen. Aus ihnen rieselt in tausend Aederchen, Quellen und Bächen das befruchtende Nass hervor, welches den fleissigen Alpenbewohnern erlaubt, saftiges Grün und Fülle der Nahrung den steilen Berggehängen abzugewinnen. Sie erzeugen auf der verhältnissmässig kleinen Oberfläche der Alpenkette die mächtigen Ströme, den Rhein, die Rhône, den Po, die Etsch, den Inn, welche das westliche Europa auf Hunderte von Meilen hinaus in reichen breiten Flussthälern durchziehen bis zur Nordsee, bis zum Mittelmeere, zum Adriatischen und zum Schwarzen Meere hin. Erinnern Sie sich, wie gross Goethe in Mahomet's Gesang den Lauf des Felsenquells von seinem Ursprung über den Wolken bis zur Vereinigung mit dem Vater Ocean dargestellt hat. Es wäre vermessen, nach ihm eine solche Schilderung in anderen als seinen Worten geben zu wollen:

Und im rollenden Triumphe
Giebt er Ländern Namen, Städte
Werden unter seinem Fuss.
Unaufhaltsam rauscht er weiter,
Lässt der Thürme Flammengipfel,
Marmorhäuser, eine Schöpfung
Seiner Fülle, hinter sich.
Cedernhäuser trägt der Atlas
Auf den Riesenschultern; sausend
Wehen über seinem Haupte
Tausend Flaggen durch die Lüfte,
Zeugen seiner Herrlichkeit.

Und so trägt er seine Brüder,
Seine Schätze, seine Kinder
Dem erwartenden Erzeuger
Freudebrausend an das Herz.

Die neueren Fortschritte in der Theorie des Sehens

Vorlesungen
gehalten zu Frankfurt am Main und Heidelberg
Ausgearbeitet für die Preussischen Jahrbücher
1868

Die Physiologie der Sinne bildet ein Grenzgebiet, auf dem die beiden grossen Abtheilungen menschlichen Wissens, welche man unter dem Namen der Natur- und Geisteswissenschaften zu scheiden pflegt, wechselseitig in einander greifen, wo sich Probleme aufdrängen, welche beide gleich lebhaft interessiren, und welche auch nur durch die gemeinsame Arbeit beider zu lösen sind. Zunächst hat es die Physiologie freilich nur mit körperlichen Veränderungen in körperlichen Organen zu thun, die Physiologie der Sinne also zunächst mit den Nerven und mit ihren Empfindungen, sofern diese Erregungszustände der Nerven sind. Aber die Wissenschaft kann doch nicht umhin, wenn sie die Thätigkeiten der Sinneswerkzeuge untersucht, auch von den Wahrnehmungen äusserer Objecte zu reden, welche vermittelst dieser Erregungen in den Nerven zu Stande kommen, schon deshalb nicht, weil die Existenz einer Wahrnehmung uns oft eine Nervenerregung oder eine Modification einer solchen verräth, die wir sonst nicht entdeckt haben würden. Wahrnehmungen äusserer Objecte sind aber jedenfalls Acte unseres Vorstellungsvermögens, die von Bewusstsein begleitet sind; es sind psychische Thätigkeiten. Ja die genauere Untersuchung der genannten Vorgänge hat in dem Maasse, als sie tiefer eindrang, ein immer breiter werdendes Gebiet solcher psychischen Vorgänge kennen gelehrt, deren Resultate schon in der scheinbar unmittelbarsten sinnlichen Wahrnehmung verborgen liegen, und die bisher noch wenig zur Sprache gekommen sind. Denn man hatte sich gewöhnt, die fertige Wahrnehmung eines vorliegenden äusseren Dinges als ein durch den Sinn unmittelbar gegebenes und weiter nicht zu analysirendes Ganzes zu betrachten.

Ich brauche hier kaum an die fundamentale Wichtigkeit zu erinnern, welche gerade dieses Gebiet der Forschung für fast alle anderen Zweige der Wissenschaft hat. Sinnliche Wahrnehmung

liefert ja am Ende unmittelbar oder mittelbar den Stoff zu allem menschlichen Wissen, oder doch wenigstens die Veranlassung zur Entfaltung jeder eingeborenen Fähigkeit des menschlichen Geistes. Sie liefert die Grundlage für alle Thätigkeit des Menschen gegen die Aussenwelt hin, und wenn man auch die hier zur Erscheinung kommenden psychischen Thätigkeiten als die einfachsten und niedrigsten ihrer Art betrachten mag, so sind sie darum nicht minder wichtig und interessant. Auch ist wenig Aussicht, dass zum Ziele der Erkenntniss kommen wird, wer nicht mit dem Anfang anfängt.

Es liegt hier der erste Fall vor, dass die auf naturwissenschaftlichem Boden gross gezogene Kunst des Experimentirens in das ihr bisher so unzugängliche Gebiet der Seelenthätigkeiten eingreifen konnte; freilich zunächst nur, insofern wir durch den Versuch die Art der sinnlichen Eindrücke festzustellen vermögen, welche bald dieses, bald jenes Anschauungsbild vor unser Bewusstsein rufen. Aber auch daraus schon fliessen mannigfaltige Folgerungen über das Wesen der mitwirkenden psychischen Vorgänge; und so will ich denn versuchen, in diesem Sinne hier über die Ergebnisse der genannten physiologischen Untersuchungen Bericht zu erstatten.

Eine speciellere Veranlassung liegt für mich in dem Umstande, dass ich erst kürzlich mit einer vollständigen Durcharbeitung des ganzen Gebietes der physiologischen Optik [1]) fertig geworden bin, und gerne die mir gebotene Gelegenheit benutze, das, was sich in einem wesentlich naturwissenschaftlichen Zwecken gewidmeten Buche von hierher gehörigen Anschauungen und Folgerungen zwischen zahllosen Einzelheiten vielleicht verstecken oder verlieren möchte, in übersichtlicherem Abriss zusammenzustellen. Ich bemerke noch, dass ich bei jener Arbeit namentlich bemüht gewesen bin, mich von jeder nur einigermaassen wichtigen Thatsache durch eigene Erfahrung und eigenen Versuch zu überzeugen. Auch herrscht kein erheblicher Streit mehr über wesentlichere Punkte der Beobachtungsthatsachen, höchstens noch über die Breite gewisser individueller Unterschiede bei einzelnen Klassen von Wahrnehmungen. Gerade in den letzten Jahren hat unter dem Einflusse des grossen Aufschwungs der Augenheilkunde eine

[1]) Handbuch der Physiologischen Optik von H. Helmholtz, neunter Band von G. Karsten's allgemeiner Encyclopädie der Physik. Leipzig 1867.

namhafte Anzahl bedeutender Forscher über die Physiologie des Gesichtssinnes gearbeitet, und in dem Maasse als die Menge der beobachteten Thatsachen gewachsen ist, sind diese auch wissenschaftlicher Ordnung und Klärung zugänglicher geworden. Sachverständige Leser werden übrigens wissen, wie viel Arbeit aufgewendet werden musste, um manche verhältnissmässig einfach und fast selbstverständlich erscheinende Thatsachen dieses Gebietes festzustellen.

Um die späteren Folgerungen in ihrem ganzen Zusammenhange verständlich zu machen, werden wir zunächst die physikalischen Leistungen des Auges als eines optischen Instrumentes kurz zu charakterisiren haben, dann die physiologischen Vorgänge der Erregung und Leitung in den dem Auge zugehörigen Theilen des Nervensystems besprechen und zuletzt uns der psychologischen Frage zuwenden, wie nämlich aus den Nervenerregungen Wahrnehmungen entspringen. Der erste physikalische Theil der Untersuchung, den wir hier zunächst nicht übergehen können, weil er die wesentliche Grundlage des Folgenden bildet, wird freilich mancherlei schon in weiten Kreisen Bekanntes wiederholen müssen, um das Neue einordnen zu können. Uebrigens nimmt gerade dieser Theil der Untersuchung ein erhöhetes Interesse anderer Art vorzugsweise in Anspruch, weil er die wesentliche Basis für die ausserordentliche Entwickelung geworden ist, welche die Augenheilkunde in den letzten zwanzig Jahren genommen hat, eine Entwickelung, die durch ihre Schnelligkeit und die Art ihres wissenschaftlichen Charakters vielleicht ohne Beispiel in der Geschichte der Medizin dasteht. Nicht nur der Menschenfreund darf sich dieser Errungenschaften freuen, durch die so viel Elend, dem eine ältere Zeit machtlos gegenüberstand, verhütet oder beseitigt wird; auch der Freund der Wissenschaft hat ganz besonderen Grund, mit stolzer Freude darauf hinzublicken. Denn es ist nicht zu verkennen, dass dieser Fortschritt nicht durch suchendes Herumtappen und glückliches Finden, sondern durch streng folgerichtigen Gang, der die Bürgschaft weiterer Erfolge in sich trägt, errungen worden ist. Wie einst die Astronomie ein Vorbild war, an dem die physikalischen Wissenschaften die Zuversicht auf den Erfolg der rechten Methode kennen lernen konnten, so zeigt die Augenheilkunde jetzt in augenfälligster Weise, was auch in der praktischen Heilkunde durch ausgedehnte Anwendung wohlverstandener Untersuchungsmethoden und durch die richtige Einsicht in den ursächlichen

Zusammenhang der Erscheinungen geleistet werden kann. Es ist nicht zu verwundern, wenn ein Kampfplatz, der wissenschaftlichem Sinne und arbeitsfreudiger Geisteskraft neue und schöne Siege über die widerstrebenden Kräfte der Natur in Aussicht stellte, auch die geeigneten Streiter versammelte; darin, dass ihrer so viele waren und kamen, liegt wesentlich der Grund für die überraschende Schnelligkeit dieser Entwickelung. Es sei mir vergönnt, aus ihrer Zahl für drei verwandte Volksstämme je einen Repräsentanten zu nennen, nämlich Albrecht v. Graefe in Berlin, Donders in Utrecht, Bowman in London.

Noch eine andere Freude mag der Freund ernsten Forschens dieser Entwickelung gegenüber empfinden, indem er an Schiller's tiefsinniges Wort von der Wissenschaft denkt:

Wer um die Göttin freit, suche in ihr nicht das Weib.

Es liesse sich nämlich an der Geschichte auch dieses Gegenstandes leicht erweisen und wird sich im Folgenden theilweise zeigen, dass die wichtigsten praktischen Erfolge ungeahnt aus Untersuchungen hervorgewachsen sind, die dem Unkundigen als unnützeste Kleinkrämereien erscheinen mochten, während der Kundige darin zwar ein bisher verborgenes Verhältniss von Ursache und Wirkung sich offenbaren sah, aber diesem zunächst doch nur in rein theoretischem Interesse nachspüren konnte.

I.

Der optische Apparat des Auges.

Unter allen Sinnen des Menschen ist das Auge immer als das liebste Geschenk und als das wunderbarste Erzeugniss der bildenden Naturkraft betrachtet worden. Dichter haben es besungen, Redner gefeiert; Philosophen haben es als Maassstab für die Leistungsfähigkeit organischer Kraft gepriesen, und Physiker haben es als das unübertrefflichste Vorbild optischer Apparate nachzuahmen gesucht. Die enthusiastische Bewunderung dieses Organes ist in der That wohl zu begreifen, wenn man an seine Leistungen denkt; an seine raumdurchdringende Kraft, an die Schnelligkeit, mit der es die Fülle seiner farbenprächtigen Bilder wechseln lässt, und an den Reichthum von Anschauungen, die es uns zuführt. Das unermessliche All und seine zahllosen leuchtenden Welten kennen wir nur durch das Auge; nur das Auge macht uns die Fernen der irdischen Landschaft mit ihrer duftigen Abstufung sonnigen Lichtes, macht uns den Formen- und Farbenreichthum der Pflanzen, das anmuthige oder kräftige Bewegungsleben der Thiere zugänglich.

Als der härteste Verlust nächst dem des Lebens erscheint uns der Verlust des Augenlichtes.

Aber noch viel wichtiger als die Freude an der Schönheit und die Bewunderung der Erhabenheit, welche uns das Auge vermittelt, ist für uns in jedem Augenblicke unseres Lebens die Sicherheit und Genauigkeit, womit wir Lage, Entfernung, und Grösse der uns umgebenden Gegenstände durch das Gesicht beurtheilen. Denn diese Kenntniss ist die wesentlich nothwendige Grundlage für alle unsere Handlungen, mögen wir nun eine feine

Nadel durch ein verschlungenes Gewirre von Fäden hinführen wollen oder einen Sprung von Fels zu Fels machen, wo von der richtigen Abmessung der Entfernung, zu der wir springen müssen, vielleicht unser Leben abhängt. Durch den Erfolg unserer Bewegungen und Handlungen, die ja auf die mittelst des Sehens erlangten Anschauungsbilder der Aussenwelt wesentlich gegründet sind, prüfen wir auch wiederum fort und fort die Richtigkeit und Genauigkeit dieser Anschauungen selbst. Wenn uns das Gesicht über die Lage und Entfernung der gesehenen Gegenstände täuschen sollte, so würde sich das sogleich zeigen, wollten wir das am falschen Orte Gesehene ergreifen oder darauf zueilen. Eben diese unablässige Prüfung der Genauigkeit der Gesichtsbilder durch unsere Handlungen ist es nun auch, was uns die felsenfeste Ueberzeugung von ihrer unmittelbaren und vollkommenen Wahrheit und Treue verschafft, eine Ueberzeugung, welche durch keine noch so wohlbegründet erscheinenden Einwürfe der Philosophie oder Physiologie erschüttert wird.

Dürfen wir uns wundern, wenn diesen Erfahrungen gegenüber sich die Meinung feststellte, das Auge sei ein optisches Werkzeug von einer Vollkommenheit, der kein aus Menschenhänden hervorgegangenes Instrument jemals gleichkommen könne? wenn man durch die Präcision und die Complicirtheit seines Baues die Genauigkeit und die Mannigfaltigkeit seiner Leistungen erklären zu können glaubte?

Die wirkliche Untersuchung der optischen Leistungen des Auges, wie sie in den letzten Jahrzehnten betrieben worden ist, hat nun in dieser Beziehung eine sonderbare Enttäuschung herbeigeführt, eine Enttäuschung, wie sie durch die Kritik der Thatsachen ja auch manchem anderen enthusiastischen Wunderglauben schon bereitet worden ist. Und wie eben auch in solchen anderen Fällen, wo wirklich grosse Leistungen vorliegen, die rechte Bewunderung eher wächst, wenn sie verständiger wird und ihre Ziele richtiger erkennt, so mag es uns vielleicht auch hier ergehen. Denn die grossen Leistungen des kleinen Organes können ja niemals hinweggeleugnet werden; und was wir auf einer Seite unserer Bewunderung etwa abzuziehen genöthigt sein sollten, werden wir ihr an einer anderen Stelle wohl wieder zusetzen müssen.

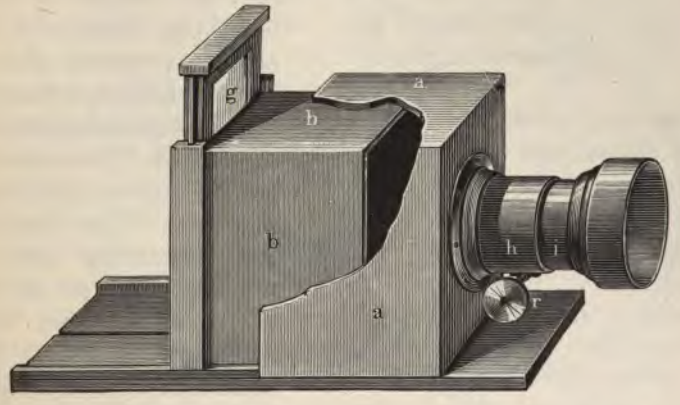
Uebrigens mag es sein, wie es will, so bleibt doch jedes Werk organisch bildender Naturkraft für uns unnachahmlich; und wenn jene Kraft hier ein optisches Instrument bildete, so ist das natür-

lich kein geringeres Wunder, als jedes andere ihrer Werke, selbst wenn sich zeigen sollte, dass menschliche Kunst optische Instrumente herstellen kann, die, als solche, allerdings einen höheren Grad von Vollendung erreicht haben, als das Auge.

Als optisches Instrument betrachtet ist das Auge eine Camera obscura. Jedermann kennt jetzt diese Art von Apparaten, wie sie die Photographen anwenden, um Portraits oder Landschaften aufzunehmen.

Ein solcher ist in Fig. 41 dargestellt. Ein innen geschwärzter, aus zwei in einander verschiebbaren Theilen *a* und *b* zusammengesetzter Kasten enthält an seiner Vorderseite in der Röhre *hi* Glaslinsen, die das einfallende Licht brechen und es im Hinter-

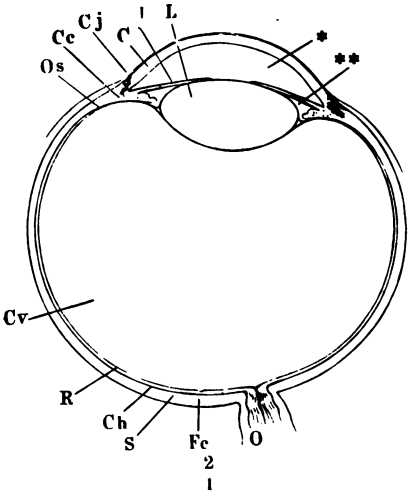
Fig. 41.



grunde des Kastens zu einem optischen Bilde der vor dem Instrumente befindlichen Gegenstände vereinigen. Zuerst wenn der Photograph sein Instrument richtet und einstellt, fängt er das optische Bild mit einer matten Glastafel *g* auf. Es wird auf dieser sichtbar als ein sehr fein und sauber, in natürlicher Färbung gezeichnetes Bild, zierlicher und schärfer, als es der geschickteste Künstler nachahmen könnte, aber freilich auf den Kopf gestellt. Nachher wird an die Stelle jener Glastafel zum Auffangen des Bildes die präparirte lichtempfindliche Platte eingeschoben, auf der das Licht dauernde chemische Veränderungen hervorbringt, stärkere an den hell beleuchteten Stellen, schwächere an den dunkleren. Diese chemischen Veränderungen, einmal erfolgt, bleiben dann bestehen; durch sie wird das Bild auf der Platte fixirt.

Die natürliche Camera obscura unseres Auges, von dem Fig. 42 einen schematischen Durchschnitt zeigt, hat ebenso ihren innen geschwärzten Kasten; freilich ist er nicht eckig, sondern kugelförmig; nicht aus Holz verfertigt, sondern aus einer straffen dicken weissen Sehnenhaut *S* gebildet, deren vordere Theile als das Weisse des Auges zwischen den Augenlidern sichtbar werden. Innen ist diese äussere feste Hülle des Augapfels geschwärzt, indem sie mit der feinen fast ganz aus verschlungenen rothen Blutgefässen gebildeten und mit schwarzem Pigment dicht bedeckten Aderhaut *Ch*, Fig. 42, austapeziert ist. Abweichend ferner ist es, dass der Augapfel nicht leer, sondern mit durchsichtiger wasserheller Flüssigkeit gefüllt ist. Statt der Glaslinsen der Camera obscura finden wir vorn am Auge die von durchsichtiger Knorpelmasse gebildete kugelig hervorgewölbte Hornhaut *C* in die weisse Sehnenhaut eingesetzt. Ihre Stellung und Krümmung sind unveränderlich, weil sie mit zur festen äusseren Wand des Augapfels gehört. Die Glaslinsen des Photographen sind dagegen nicht unveränderlich festgestellt; sie stecken vielmehr in einer verschiebbaren Röhre, und der Photograph bewegt diese mittelst einer Schraube *r*, Fig. 41, um sie der Entfernung der abzubildenden Gegenstände anzupassen und von diesen ein deutliches Bild zu erhalten. Je näher das Object, desto weiter muss er die Linse hervorschieben, je ferner es ist, desto weiter stellt er sie zurück. Auch dem Auge fällt nun die Aufgabe zu, bald ferne, bald nahe Gegenstände auf seiner Hinterwand deutlich abzubilden. Dazu ist gleichfalls im optischen Apparate des Auges ein veränderlicher Theil nöthig. Dies ist die Krystallinse *L*, Fig. 42, die im Inneren nahe hinter der Hornhaut, aber fast ganz verdeckt von der braunen oder blauen Iris *I* liegt. In der Mitte, wo die Iris eine runde Oeffnung, die Pupille, hat, liegt die Krystall-

Fig. 42.



linse frei, den Rändern der Pupille dicht an; aber sie ist so durchsichtig, dass man bei gewöhnlicher Beleuchtung nichts von ihr erkennt, sondern nur die dem dunklen Hintergrund des Augapfels eigenthümliche Schwärze wahrnimmt. Die Krystallinse ist ein weich elastischer, linsenförmiger, äusserst durchsichtiger Körper mit einer vorderen und hinteren gewölbten Fläche. Sie ist durch ein sie ringförmig umgebendes, einer Halskrause ähnlich in strahlenförmige Falten gelegtes Befestigungsband, das Strahlenblättchen (Zonula Zinnii) bei **, Fig. 42, ringsum befestigt, und die Spannung dieses Bandes kann durch einen im Auge gelegenen, ringsum am Rande der Hornhaut entspringenden Muskel, den Ciliarmuskel *Cc*, verringert werden. Dann wölben sich die Flächen der Linse, namentlich die vordere, beträchtlicher vor, als sie es im Ruhezustande des Auges thun, die Brechung der Lichtstrahlen in der Linse wird stärker, und das Auge wird dadurch geeignet, Bilder von näheren Gegenständen auf der Fläche seines Hintergrundes zu entwerfen.

Das ruhende normalsichtige Auge sieht ferne Gegenstände deutlich; durch Spannung des Ciliarmuskels wird es für nahe Gegenstände eingerichtet oder accommodirt. Der Mechanismus der Accommodation, den ich eben kurz aus einander gesetzt habe, war seit Kepler eines der grössten Räthsel der Ophthalmologie gewesen und gleichzeitig, wegen der sehr häufigen Unvollkommenheiten der Accommodation, eine Frage von grösster praktischer Wichtigkeit. Ueber keinen Gegenstand der Optik sind jemals so viele widersprechende Theorien gebaut worden, als über diesen. Die Lösung des Räthsels wurde angebahnt, als der englische Augenarzt Sanson, der sich dabei das Verdienst eines ungewöhnlich aufmerksamen Beobachters erwarb, ganz schwache Lichtreflexe innerhalb der Pupille bemerkte, welche an den beiden Flächen der Krystallinse zu Stande kommen. Es war dies eines der unscheinbarsten Phänomene, nur bei starker Beleuchtung von der Seite her in übrigens ganz dunklem Raume, bei einer bestimmten Stellung des Beobachters und auch dann nur wie ein schwacher nebeliger Schein zu sehen. Aber dieser schwache Schein war dazu bestimmt, ein grosses Licht in einem dunklen Gebiete der Wissenschaft zu werden. Es war nämlich das erste am lebenden Auge sinnlich wahrnehmbare Zeichen, das von der Krystallinse herrührte. Sanson benutzte sogleich diese Reflexbildchen, um objectiv constatiren zu können, ob in einem kranken Auge die Linse sich an ihrer Stelle befinde. Max Langenbeck bemerkte zuerst Ver-

änderungen dieser Reflexe bei der Accommodation. Diese wurden von Cramer in Utrecht, und unabhängig davon auch von mir zu einer genauen Feststellung aller Veränderungen benutzt, welche die Linse bei der Accommodation erleidet. Das Princip des Heliometers, welches die Astronomen anwenden, um an dem ewig beweglichen Himmelsgewölbe sehr kleine Sternabstände, trotz ihrer scheinbaren Bewegung so genau zu messen, dass sie dadurch die Tiefen des Fixsternhimmels sondiren können, gelang mir in veränderter Form der Anwendung auch auf das bewegliche Auge zu übertragen. Ein zu diesem Zwecke construirtes Messinstrument, das Ophthalmometer, erlaubt am lebenden Auge die Krümmung der Hornhaut, der beiden Linsenflächen, die Abstände dieser Flächen von einander u. s. w. mit grösserer Schärfe zu messen, als man es bisher selbst am todten Auge thun konnte, und dadurch die ganze Breite der Veränderungen des optischen Apparates, soweit sie auf die Accommodation Einfluss haben, festzustellen.

So war physiologisch die Aufgabe gelöst. Daran schlossen sich nun weiter die Untersuchungen der Augenärzte, namentlich von Donders über die individuellen Fehler der Accommodation, die man im gewöhnlichen Leben unter dem Namen der Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit zu umfassen pflegt. Zuverlässige Methoden mussten ausgebildet werden, um auch bei ungeübten und ununterrichteten Kranken die Grenzen des Accommodationsvermögens genau bestimmen zu können. Es zeigte sich, dass unter dem Namen der Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit sehr verschiedenartige Zustände zusammen geworfen waren, welche die Wahl passender Brillen bis dahin unsicher gemacht hatten; dass sehr hartnäckige und unerklärliche, scheinbar nervöse Leiden einfach auf gewissen Fehlern des Accommodationsapparates beruhen und durch eine richtig gewählte Brille schnell beseitigt werden können. Auch hat Donders nachgewiesen, dass Fehler der Accommodation die gewöhnlichste Veranlassung zur Entstehung des Schielens sind, während Albrecht von Graefe schon früher gezeigt hatte, dass vernachlässigte und allmählich gesteigerte Kurzsichtigkeit Veranlassung zu den gefährlichsten Dehnungs-Erkrankungen und Verbildungen des Augenhintergrundes

So haben sich die unerwartesten Verknüpfungen ursächlich Zusammenhanges nach allen Richtungen hin erschlossen, und s ebenso fruchtbringend für die Kranken, wie interessant für Physiologen geworden.

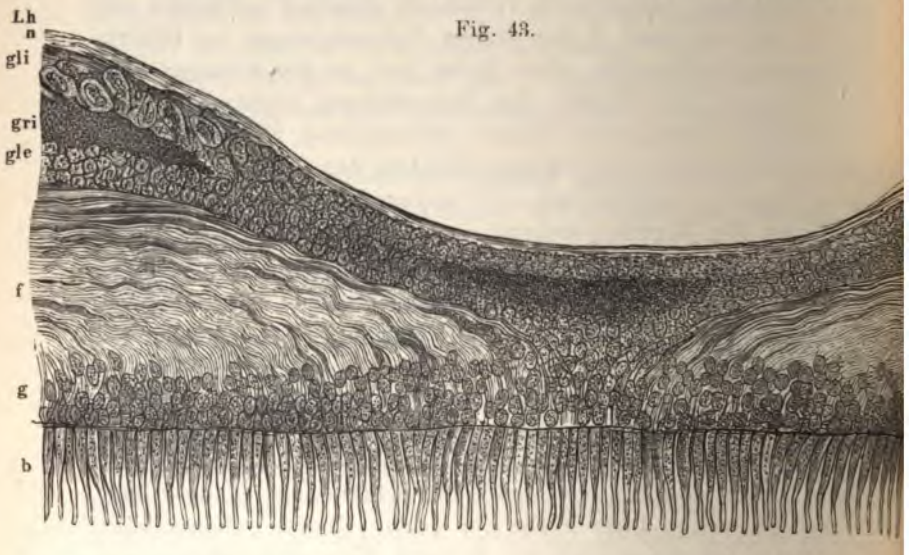
Jetzt bleibt uns noch übrig, von dem Schirme zu sprechen, welcher das im Auge entworfene optische Bild auffängt. Es ist dies die dünne membranartige Ausbreitung des Sehnerven, die Netzhaut, welche die innerste Lage der den Augapfel auskleidenden Häute bildet. Der Sehnerv *O*, Fig. 42, ist ein cylindrischer Strang, der sehr feine Nervenfasern, zusammengefasst und geschützt durch eine starke sehnige Scheide, dem Augapfel zuführt und an der Hinterwand desselben, etwas nach der Nasenseite herüber, in ihn eintritt. Die Fasern des Sehnerven strahlen dann von ihrer Eintrittsstelle nach allen Richtungen über die vordere Fläche der Netzhaut aus. Sie sind, wo sie enden, mit eigenthümlichen Endgebilden verbunden, zunächst mit Zellen und Kernen, wie sie auch in der grauen Nervensubstanz des Gehirns vorkommen; schliesslich aber findet sich an der hinteren Seite der Netzhaut, die Enden der Nervenleitung ausmachend, ein regelmässiges Mosaik aus feineren cylindrischen Stäbchen und etwas dickeren flaschenförmigen Gebilden, den Zapfen der Netzhaut *b*, Fig. 43, gebildet, alle dicht aneinander gedrängt, senkrecht zur Fläche der Netzhaut stehend, und jedes mit einer Nervenfaser verbunden, die Stäbchen mit Fasern allerfeinster Art, die Zapfen mit etwas dickeren. Dieses Mosaik der Stäbchen und Zapfen ist, wie sich durch bestimmte Versuche zeigen lässt, die eigentlich lichtempfindliche Schicht der Netzhaut, das heisst diejenige, in welcher allein die Lichteinwirkung eine Nervenerregung hervorzubringen im Stande ist.

Die Netzhaut hat eine ausgezeichnete Stelle, die nicht ganz in ihrer Mitte, sondern etwas nach der Schläfenseite hinüber liegt, und welche wegen ihrer Farbe der gelbe Fleck genannt wird. Diese Stelle ist etwas verdickt. In ihrer Mitte aber befindet sich ein Grübchen, die Netzhautgrube, wo die Membran sehr dünn ist, weil ihre Zusammensetzung hier auf diejenigen Elemente reducirt ist, die zum genauen Sehen unbedingt nothwendig sind. Fig. 43 stellt nach Henle einen Querschnitt dieser Stelle von einem in Alkohol erhärteten Präparate in 300maliger Vergrösserung dar. *Lh* ist die elastische Membran, welche die Netzhaut gegen den Glaskörper hin begrenzt. Bei *b* sieht man dagegen die Zapfen, welche hier feiner sind ($^1/_{400}$ Millimeter im Durchmesser), als in den übrigen Theilen der Netzhaut, und ein dichtes regelmässiges Mosaik bilden. Die übrigen mehr oder weniger trüben Elemente der Netzhaut sind zur Seite geschoben, mit Ausnahme der zu den Zapfen gehörigen Körner *g*. Man sieht bei *f* die

Faserzüge, welche zur Verbindung dieser Körner mit den anderen mehr nach vorn liegenden nervösen Gebilden dienen. Von letzteren sieht man bei *n* die Schicht der Nervenfasern des Sehnerven, bei *gli* und *gle* zwei Schichten von Nervenzellen, zwischen ihnen bei *gri* eine fein granulirte Schicht. Alle diese letzteren sind in der Mitte der Netzhautgrube durchbrochen und in der Figur nur die letzten verdünnten Ausläufer dieser Schichten sichtbar. Auch die Gefässe der Netzhaut treten nicht in die Netzhautgrube ein, sondern enden in ihrer nächsten Umgebung mit einem zarten Kranze feinster Capillarschlingen.

Die Netzhautgrube ist für das Sehen von grosser Wichtigkeit,

Fig. 43.



weil sie die Stelle feinster Raumunterscheidung ist. Die Zapfen als letzte lichtempfindliche Elemente sind hier am engsten zusammengedrängt und von allen vorliegenden halbdurchsichtigen Theilen befreit. Wir dürfen annehmen, dass von jedem dieser Zapfen eine Nervenfaser, durch den Sehnervenstamm isolirt, nach dem Gehirn geht, um den empfangenen Eindruck dort hinzuleiten, und dass somit der Erregungszustand jedes einzelnen Zapfens auch isolirt von den übrigen zur Empfindung kommen kann.

Die Entwerfung der optischen Bilder in einer Camera obscura beruht bekanntlich darauf, dass Lichtstrahlen, die von einem leuchtenden Punkte, dem Objectpunkte, ausgegangen sind, durch die Glaslinsen so gebrochen und von ihrer früheren Rich-

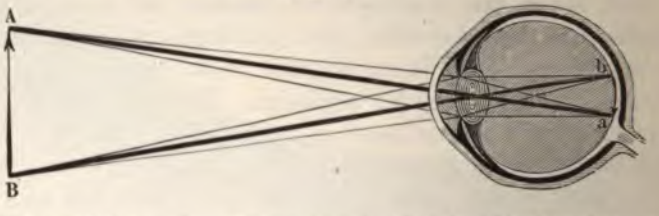
tung abgelenkt werden, dass sie sich hinter den Linsen alle wieder in einem Punkte vereinigen, im Bildpunkte. Dasselbe bewirkt bekanntlich jede Brennlinse. Lassen wir Sonnenstrahlen durch eine solche gehen, und halten in passender Entfernung dahinter ein weisses Papier, so ist zweierlei zu bemerken. Erstens nämlich, was gewöhnlich nicht beachtet wird, dass die Brennlinse einen Schatten wirft wie ein undurchsichtiger Körper, während sie doch aus durchsichtigem Glase besteht, und zweitens, dass in der Mitte dieses Schattens eine blendend hell beleuchtete Stelle erscheint, das Sonnenbildchen. Das Licht, welches, wenn die Linse nicht dagewesen wäre, die ganze Fläche beleuchtet haben würde, auf welche ihr Schatten fällt, wird durch die Brechung in dem Glase auf die kleine leuchtende Stelle des Sonnenbildchens vereinigt, daher hier auch Licht und Wärme viel intensiver sind, als in den ungebrochenen Strahlen der Sonne. Wählen wir statt der Sonnenscheibe eine punktförmige Lichtquelle, wie zum Beispiel den Sirius, so wird auch das Licht im Focus der Linse in einen Punkt vereinigt. Hier beleuchtet es den Papierschirm, und so erscheint ein beleuchteter Punkt des Papierschirms als Bild des Sterns. Steht ein anderer Fixstern in der Nähe, so wird dessen Licht gesammelt auf einem zweiten Punkte des Papierschirms, den es beleuchtet, und dieser zweite Punkt erscheint dem entsprechend als Bild des zweiten Sterns. Ist dessen Licht etwa roth, so erscheint natürlich auch der von ihm erhellte Punkt roth. Sind mehr Sterne in der Nähe, so hat jeder sein Bild an einer anderen Stelle des Papiers, und jedes Bild hat die Farbe des Lichtes, welches der Stern aussendet. Haben wir endlich statt getrennter leuchtender Punkte, wie sie die Sterne darbieten, eine continuirliche Reihenfolge von leuchtenden Punkten einer leuchtenden Linie oder Fläche, so entspricht dieser auch eine continuirliche Reihenfolge von entsprechend beleuchteten Bildpunkten auf dem Papier; aber auch hier wird, vorausgesetzt, dass der Papierschirm an die richtige Stelle gebracht wird, alles Licht, was von einem einzelnen Objectpunkte ausgeht, auf nur einen Punkt des Schirmes concentrirt und beleuchtet diesen mit derjenigen Lichtstärke und Farbe, die ihm eben angehört, während derselbe Punkt des Papiers kein Licht von irgend einem anderen leuchtenden Punkte des Objects erhält.

Setzen wir an Stelle des bisher angenommenen Papierschirms eine präparirte photographische Platte, so wird jeder Punkt der-

selben von dem ihn treffenden Lichte verändert. Dieses Licht ist aber alles Licht und nur das Licht, das von dem entsprechenden Objectpunkte in das Instrument fällt, und entspricht in seiner Helligkeit der Helligkeit des betreffenden Objectpunktes. So entspricht denn auf der lichtempfindlichen Platte die Intensität der Veränderung, welche sie erleidet, an jeder Stelle der (chemischen) Intensität des Lichtes, welches der betreffende Objectpunkt ausgesendet hat.

Was im Auge geschieht, ist genau dasselbe; nur dass an die Stelle der Glaslinsen Hornhaut und Krystallinse, an Stelle des Papierschirms oder der photographischen Platte die Netzhaut tritt. Ist also ein genaues optisches Bild auf der Netzhaut entworfen, so wird jeder Zapfen der Netzhaut nur von dem Lichte

Fig. 44.



getroffen, welches ein entsprechend kleines Flächenelement des Gesichtsfeldes aussendet; die aus dem Zapfen entspringende Nervenfaser wird also nur von dem Lichte dieses einen entsprechenden Flächenelements in Erregung versetzt, und empfindet nur dieses, während durch das Licht benachbarter Punkte des Gesichtsfeldes andere Nervenfasern erregt werden. Fig. 44 erläutert dieses Verhältniss; die Strahlen, welche von dem Objectpunkte *A* ausgehen, werden so gebrochen, dass sie sich alle in *a* auf der Netzhaut vereinigen, während die vom Objectpunkte *B* ausgehenden sich in *b* sammeln.

Auf diese Weise geschieht es also, dass das Licht jedes einzelnen hellen Punktes des Gesichtsfeldes für sich eine besondere Empfindung erregt, dass die gleiche oder verschiedene Helligkeit verschiedener Punkte des Gesichtsfeldes in der Empfindung unterschieden und aus einander gehalten werden kann, und dass diese verschiedenen Eindrücke alle gesondert zum Bewusstsein gelangen können.

Vergleichen wir nun das Auge mit künstlichen optisch Instrumenten, so fällt uns zunächst als ein Vorzug das sehr gr Gesichtsfeld desselben auf, welches für jedes einzelne Auge fast

zwei rechte Winkel von rechts nach links umfasst (160° von rechts nach links, 120° von oben nach unten), und für beide zusammengenommen sogar noch etwas mehr als zwei rechte Winkel in horizontaler Ausdehnung. Das Gesichtsfeld unserer künstlichen Instrumente ist meist sehr klein, um so kleiner, je stärker die Vergrösserung des Bildes. Aber freilich ist auch zu bemerken, dass wir von unseren künstlichen Instrumenten vollkommene Schärfe des Bildes in seiner ganzen Ausdehnung zu verlangen pflegen, während das Netzhautbild nur in sehr kleiner Ausdehnung, nämlich der des gelben Flecks, eine grosse Schärfe zu haben braucht. Der Durchmesser der Netzhautgrube entspricht im Gesichtsfelde etwa einem Winkelgrade, das heisst, einer Ausdehnung, wie sie von dem Nagel unseres Zeigefingers bedeckt erscheint, wenn wir die Hand möglichst weit von uns entfernen. In diesem kleinen Abschnitte des Gesichtsfeldes ist die Genauigkeit des Sehens so gross, dass Abstände zweier Punkte von einer Winkelminute, entsprechend dem sechzigsten Theile der Breite des Zeigefingernagels in der angegebenen Haltung, noch unterschieden werden können. Diese Distanz entspricht der Breite eines Zapfens der Netzhaut. Alle übrigen Theile des Netzhautbildes werden ungenauer gesehen, um so mehr, je weiter sie nach den Grenzen der Netzhaut hinfallen. So gleicht das Gesichtsbild, welches wir durch eine Auge erhalten, einer Zeichnung, in welcher ein mittlerer Theil sehr fein und sauber ausgeführt, die Umgebung aber nur grob skizzirt ist. Wenn wir aber auch in jedem einzelnen Augenblick nur einen sehr kleinen Theil des Gesichtsfeldes genau sehen, so sehen wir ihn doch gleichzeitig im Zusammenhang mit seiner Umgebung, und wir sehen von letzterer hinreichend viel, um auf jeden auffallenden Gegenstand, namentlich aber auf jede Veränderung in diesem Umkreise sogleich aufmerksam werden zu können, was Alles in einem Fernrohr nicht der Fall ist. Sind aber die Gegenstände zu klein, so erkennen wir sie überhaupt nicht mit den Seitentheilen der Netzhaut.

> Wenn über uns, im blauen Raum verloren,
> Ihr schmetternd Lied die Lerche singt,

so ist sie uns eben verloren, so lange es uns nicht gelingt ihr Bild auf die Netzhautgrube zu bringen. Dann erst erfassen wir sie mit unserem Blicke, dann nehmen wir sie wahr.

Den Blick auf ein Object hinwenden heisst: das Auge so stellen, dass das Bild jenes Objects sich auf der Stelle des deut-

lichsten Sehens abbildet. Dies nennen wir auch directes Sehen, indirectes dagegen, wenn wir mit den seitlichen Theilen der Netzhaut sehen.

Durch die Beweglichkeit des Auges nun, welche uns erlaubt, schnell hinter einander den Blick jedem einzelnen Theile des Gesichtsfeldes der uns gerade interessirt, zuzuwenden, werden die Mängel, welche die geringe Schärfe des Bildes und die geringere Anzahl der percipirenden Netzhautelemente in dem grösseren Theile des Gesichtsfeldes mit sich bringen, reichlich ausgeglichen, und in dieser grossen Beweglichkeit beruht in der That der grösste Vorzug, den das Auge vor unseren schwerfälligeren künstlichen Instrumenten ähnlicher Art hat. Ja, bei der eigenthümlichen Weise, in der unsere Aufmerksamkeit zu arbeiten pflegt, dass sie sich nämlich in jedem einzelnen Moment nur einer Vorstellung oder Anschauung zuwendet, und sobald sie diese gefasst hat, einer neuen zueilt, gewährt unter übrigens normalen Verhältnissen die bestehende Einrichtung des Auges gerade so viel, als erforderlich ist, und ist praktisch so ganz gleichwerthig mit einem durchweg vollkommen scharf ausgearbeiteten Gesichtsbilde, dass wir die Unvollkommenheiten des indirecten Sehens gar nicht einmal zu kennen pflegen, ehe wir geflissentlich unsere Aufmerksamkeit darauf gerichtet haben. Was uns interessirt, blicken wir an und sehen es scharf; was wir nicht scharf sehen, interessirt uns auch der Regel nach in dem Augenblicke nicht, wir beachten es nicht, und bemerken nicht die Undeutlichkeit des Bildes.

Es wird uns im Gegentheile schwer, und erfordert lange Einübung, unsere Aufmerksamkeit einer physiologischen Frage wegen einem indirect gesehenen Objecte zuzuwenden, ohne auch gleichzeitig das Auge darauf zu richten und es anzublicken. So sehr ist durch ununterbrochene Gewöhnung unsere Aufmerksamkeit an den Blickpunkt; und die Bewegung des Blicks an die Bewegung der Aufmerksamkeit gefesselt. Und ebenso schwer ist es andrerseits den Blick während einer Reihe von Secunden auf einen Punkt so genau zu fixiren, wie es zum Beispiel nöthig ist, um ein wohlbegrenztes Nachbild zu erhalten. Auch das erfordert besondere Uebung.

In diesem Verhältnisse ist offenbar ein grosser Theil de Bedeutung begründet, welche dem Auge als Mittel seelischer Ausdrucks zukommt. Die Bewegung des Blicks ist eines d directesten Zeichen für die Bewegung der Aufmerksamkeit, u somit der Vorstellungen im Geiste des Blickenden.

Ebenso schnell, wie die Bewegungen des Blicks nach oben, nach unten, nach rechts und nach links, geschehen auch die Aenderungen der Accommodation, wodurch der optische Apparat des Auges in schnellstem Wechsel bald fernen, bald nahen Objecten angepasst werden kann, um jedes Mal von dem Gegenstande, der gerade unsere Aufmerksamkeit fesselt, ein vollkommen scharfes Bild zu geben. Alle diese Aenderungen der Richtung wie der Accommodation gehen an unseren künstlichen Instrumenten unendlich viel schwerfälliger von Statten. Eine Photographie kann niemals ferne und nahe Gegenstände zugleich deutlich zeigen. Das Auge auch nicht; aber letzteres kann es nach einander in so schneller Folge thun, dass die meisten Menschen, welche über ihr Sehen nicht reflectirt haben, von diesem Wechsel gar nichts zu wissen pflegen.

Prüfen wir nun unseren optischen Apparat weiter. Wir wollen absehen von den schon erwähnten individuellen Mängeln der Accommodationsbreite, der Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit. Es sind dies Fehler, die zum Theil mit unserer künstlichen Lebensweise zusammenzuhängen scheinen, zum Theil dem höheren Lebensalter angehören. Aeltere Personen verlieren nämlich ihre Accommodationsfähigkeit und werden auf eine einzige, bald kleinere, bald grössere Entfernung beschränkt, in der sie noch deutlich sehen; für andere Entfernungen, nähere oder weitere, müssen sie mit Brillen nachhelfen.

Aber ein anderes wesentliches Verlangen, das wir an unsere künstlichen Instrumente stellen, ist, dass sie frei von Farbenzerstreuung, dass sie achromatisch seien. Die Farbenzerstreuung der optischen Instrumente rührt von dem Umstande her, dass die Brechung der verschiedenfarbigen einfachen Strahlen des Sonnenlichts in den uns bekannten durchsichtigen Substanzen nicht ganz gleich gross ist. Dadurch wird die Grösse und Lage der von diesen verschiedenfarbigen Strahlen entworfenen optischen Bilder etwas verschieden; dieselben decken sich dann nicht mehr vollständig im Gesichtsfelde des Beschauers, und je nachdem die Bilder bald der rothen, bald der blauen Strahlen grösser sind, erscheinen weisse Flächen bald blauviolett, bald gelbroth gesäumt, und dadurch die Reinheit der Umrisse mehr oder weniger beeinträchtigt.

Es wird vielen meiner Leser bekannt sein, welche sonderbare Rolle die Frage nach der Farbenzerstreuung im Auge bei der Erfindung der achromatischen Fernröhre gespielt hat, ein berühmtes

Beispiel dafür, dass aus zwei falschen Prämissen zuweilen ein richtiger Schluss folgen kann. Newton glaubte ein Verhältniss zwischen dem Brechungs- und Farbenzerstreuungsvermögen verschiedener durchsichtiger Substanzen gefunden zu haben, aus welchem gefolgert werden musste, dass keine achromatischen lichtbrechenden Instrumente möglich seien. Euler schloss dagegen, weil das Auge achromatisch sei, könne die von Newton angenommene Beziehung zwischen Brechungs- und Zerstreuungsvermögen verschiedener durchsichtiger Substanzen nicht richtig sein. Er stellte danach die theoretischen Regeln auf für die Construction achromatischer Instrumente, und Dollond führte sie praktisch aus. Aber schon Dollond bemerkte, dass das Auge nicht achromatisch sein könne, weil sein Bau den von Euler aufgestellten Forderungen nicht entspreche, und Fraunhofer gab endlich messende Bestimmungen für die Grösse der Farbenzerstreuung. Ein Auge, welches für rothes Licht auf unendliche Entfernung eingestellt ist, hat im Violett nur eine Sehweite von zwei Fuss. Im weissen Lichte wird diese Farbenzerstreuung nur deshalb nicht merklich, weil die genannten äussersten Farben des Spectrums zugleich die lichtschwächsten sind, und die von ihnen entworfenen Bilder neben den lichtstärkeren mittleren gelben, grünen und blauen Farben nicht sehr ins Gewicht fallen. Aber sehr auffallend ist die Erscheinung, wenn wir durch violette Gläser die äussersten Strahlen des Spectrum isoliren. Dergleichen durch Kobaltoxyd gefärbte Gläser lassen Roth und Blau durch, Gelb und Grün aber, also die mittleren und hellsten Farben des Spectrum löschen sie aus. Denjenigen meiner Leser, welche Augen von normaler Sehweite haben, werden die mit solchen violetten Gläsern versehenen Strassenlaternen, des Abends von fern gesehen, eine rothe Flamme in einem breiten blau-violetten Scheine zeigen. Letzterer ist ein Zerstreuungsbild der Flamme, von deren blauem und violettem Lichte entworfen. Dieses alltägliche Phänomen gewährt die leichteste und genügendste Gelegenheit, sich von dem Bestehen der Farbenzerstreuung im Auge zu überzeugen.

Der Grund nun, warum die Farbenzerstreuung im Auge unter gewöhnlichen Umständen so wenig auffallend und in der That auch etwas kleiner ist, als ein gläsernes Instrument von denselben optischen Leistungen sie geben würde, beruht darin, dass das hauptsächlichste brechende Medium des Auges Wasser ist, welches eine geringere Farbenzerstreuung giebt als Glas. Uebrigens ist

die Farbenzerstreuung des Auges doch noch etwas grösser, als ein bloss aus Wasser gebildeter Apparat unter übrigens gleichen Umständen ergeben würde. So kommt es, dass die Farbenzerstreuung des Auges, obgleich sie da ist, bei der gewöhnlichen weissen Beleuchtung das Sehen nicht in merklicher Weise beeinträchtigt.

Ein zweiter Fehler, der bei optischen Instrumenten mit starker Vergrösserung sehr in das Gewicht fällt, ist die sogenannte Abweichung wegen der Kugelgestalt der brechenden Flächen. Kugelige brechende Flächen vereinigen nämlich die von einem Objectpunkt ausgegangenen Strahlen nur dann annähernd in einen Bildpunkt, wenn alle Strahlen nahehin senkrecht auf jede einzelne brechende Fläche fallen. Sollten die Strahlen wenigstens in der Mitte des Bildes ganz genau vereinigt sein, so müsste man anders als kugelig gekrümmte Flächen anwenden, die sich nicht in nöthiger Vollkommenheit mechanisch herstellen lassen. Nun hat das Auge zum Theil elliptisch gekrümmte Flächen; und wiederum verleitete das günstige Vorurtheil, welches man für den Bau dieses Organes hatte, zu der Voraussetzung, dass bei ihm die Abweichung wegen der Kugelgestalt aufgehoben sei. Aber hierin schoss die natürliche Gunst für das Organ am weitesten über ihr Ziel hinaus. Die genauere Untersuchung ergab nämlich, dass viel gröbere Abweichungen am Auge vorkommen als die wegen der Kugelgestalt, Abweichungen, die an künstlichen Instrumenten bei einiger Sorgfalt leicht zu vermeiden sind, und neben denen es eine ganz unerhebliche Frage ist, ob noch Abweichung wegen der Kugelgestalt bestehe oder nicht. Die zuerst von Senff in Dorpat, dann mit einem geeigneteren Instrumente, dem von mir construirten Ophthalmometer, nachher in grosser Anzahl von Donders, Knapp und Anderen ausgeführten Messungen der Hornhautkrümmungen haben ergeben, dass die Hornhaut der meisten menschlichen Augen nicht drehrund, sondern an ihren verschiedenen Meridianen verschieden gekrümmt sei. Ich habe ferner eine Methode angegeben, um die Centrirung eines lebenden Auges zu prüfen, das heisst um zu untersuchen, ob Hornhaut und Krystallinse für die gleiche Axe symmetrisch gebildet sind. Die Anwendung dieser Methode zeigte bei den untersuchten Augen kleine, aber deutlich erkennbare Mängel der Centrirung. Die Folge dieser beiden Arten der Abweichung ist der sogenannte Astigmatismus des Auges, der sich bei den meisten menschlichen Augen in geringerem oder höherem Grade findet, und bewirkt, dass wir

nicht gleichzeitig horizontale und verticale Linien in derselben Entfernung vollkommen deutlich sehen können. Ist der Grad des Astigmatismus bedeutender, so kann man die von ihm ausgehenden Störungen durch Brillengläser mit cylindrischen Flächen beseitigen. Es ist dies ein Gegenstand, der in neuester Zeit die Aufmerksamkeit der Augenärzte in hohem Grade erregt hat.

Aber damit ist es noch nicht genug. Eine nicht drehrunde elliptische brechende Fläche, ein schlecht centrirtes Fernrohr würden zwar nicht punktförmige Bilder eines Sterns geben, sondern je nach der Einstellung elliptische, kreisrunde oder strichförmige. Die Bilder eines Lichtpunkts, wie sie das Auge entwirft, sind aber noch unregelmässiger; sie sind nämlich unregelmässig strahlig. Der Grund davon liegt in der Krystallinse, deren Faserzüge eine sechsstrahlige Anordnung zeigen, wie die in Fig. 45 dargestellte Profilansicht der Linse erkennen lässt. In der That, die Strahlen, die wir an Sternen oder an fernen Lichtflammen sehen, sind Abbilder vom strahligen Bau der menschlichen Linse; und wie allgemein dieser Fehler ist, zeigt die Gewohnheit eine strahlige Figur als sternförmig zu bezeichnen. Dass die Mondsichel, wenn sie recht schmal ist, vielen Personen doppelt oder dreifach erscheint, rührt eben daher.

Fig. 45.

5/1

Wenn mir nun ein Optiker ein Instrument verkaufen wollte, welches die letztgenannten Fehler hätte, so ist es nicht zuviel gesagt, dass ich mich vollkommen berechtigt glauben würde, die härtesten Ausdrücke über die Nachlässigkeit seiner Arbeit zu gebrauchen, und ihm sein Instrument mit Protest zurückzugeben. In Bezug auf meine Augen werde ich freilich letzteres nicht thun, sondern im Gegentheil froh sein, sie mit ihren Fehlern möglichst lange behalten zu dürfen. Aber der Umstand, dass sie mir trotz ihrer Fehler unersetzlich sind, verringert doch, wenn wir uns einmal auf den zwar einseitigen, aber berechtigten Standpunkt des Optikers stellen, die Grösse dieser Fehler nicht.

Wir sind aber mit unserem Sündenregister für das Auge noch nicht fertig.

Wir verlangen vom Optiker, dass er zu seinen Linsen auch gutes klares Glas nehme, das vollkommen durchsichtig sei. Wenn

das Glas trübe ist, so verbreitet sich im Bilde eines solchen Instrumentes rings um jede helle Fläche ein lichter Schein; das Schwarz erscheint nur grau, das Weiss nicht so hell, wie es sollte. Aber gerade diese Fehler finden sich auch in dem Bilde, welches das Auge uns von der Aussenwelt zeigt; die Undeutlichkeit dunkler Gegenstände, die in der Nähe eines sehr hellen Gegenstandes gesehen werden, rührt wesentlich von diesem Umstande her, und wenn wir Hornhaut und Krystallinse eines lebenden Auges stark beleuchten, indem wir das Licht einer hellen Lampe durch eine Linse auf sie concentriren, sehen wir auch ihre Substanz trüb weisslich erscheinen, trüber als die wässerige Feuchtigkeit, welche zwischen beiden liegt. Am auffallendsten ist diese Trübung im blauen und violetten Lichte des Sonnenspectrum; dann tritt nämlich noch die sogenannte Fluorescenz hinzu, welche die Trübung vermehrt. Mit dem Namen der Fluorescenz bezeichnet man bekanntlich die Fähigkeit gewisser Körper, zeitweilig schwach selbstleuchtend zu werden, so lange sie von violettem und blauem Lichte bestrahlt sind. Der bläuliche Schein der Chininlösungen, der grüne des gelbgrünen Uranglases rührt davon her. Die Fluorescenz der Hornhaut und Linse scheint in der That von einer in ihrem Gewebe vorhandenen kleinen Menge einer chininähnlichen Substanz herzukommen. Für den Physiologen freilich ist diese Eigenschaft der Krystallinse sehr werthvoll; denn man kann durch stark concentrirtes blaues Licht die Linse auch im lebenden Auge gut sichtbar machen, und constatiren, dass sie dicht hinter der Iris und dieser eng anliegt, worüber lange Zeit falsche Ansichten geherrscht haben. Für das Sehen aber ist die Fluorescenz der Hornhaut und Krystallinse jedenfalls nur nachtheilig.

Ueberhaupt ist die Krystallinse, so schön und klar sie auch aussieht, wenn man sie aus dem Auge eines frisch geschlachteten Thieres herausnimmt, optisch sehr wenig homogen. Man kann die Schatten der im Auge enthaltenen Trübungen und dunklen Körperchen, die sogenannten entoptischen Objecte, auf der Netzhaut sichtbar machen, wenn man durch eine sehr feine Oeffnung nach einer ausgedehnten hellen Fläche, dem hellen Himmel zum Beispiel, blickt. Den grössten Beitrag zu diesen Schatten geben immer die Faserzüge und Flecken der Krystallinse. Daneben werden auch allerlei im Glaskörper schwimmende Fäserchen, Körnchen, Membranfalten sichtbar, die, wenn sie sich nahe vor der Netzhaut befinden, auch wohl beim gewöhnlichen Gebrauche des Auges als sogenannte fliegende Mücken zum Vorschein

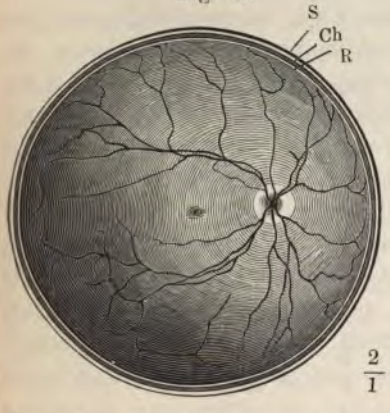
kommen; so genannt, weil sie, wenn man den Blick auf sie richten will, sich mit dem Auge fortbewegen und also vor dem Blickpunkte immer her fliehen, was den Eindruck macht, als sähe man ein fliegendes Insect. Dergleichen sind in allen Augen vorhanden, und schwimmen gewöhnlich ausserhalb des Gesichtsfeldes im höchsten Punkte des Augapfels, verbreiten sich aber im Glaskörper, wenn dieser durch schnelle Bewegungen des Auges gleichsam aufgerührt wird. Gelegentlich kommen sie dann vor die Netzhautgrube und erschweren das Sehen. Charakteristisch für die Art, wie wir die Sinnesempfindungen beachten, ist auch hier der Umstand, dass solchen Personen, die anfangen an den Augen zu leiden, dergleichen Objecte nicht selten als etwas Neues auffallen, worüber sie sich ängstigen, obgleich zweifellos dieselben Gegenstände schon längst vor ihrer gegenwärtigen Erkrankung in ihrem Glaskörper geschwommen haben.

Kennt man übrigens die Entstehungsgeschichte des Augapfels bei den Embryonen des Menschen und der Wirbelthiere, so erklären sich diese Unregelmässigkeiten in der Structur der Linse und des Glaskörpers von selbst. Beide entstehen nämlich, indem sich beim Embryo ein Theil der äusseren Haut grubenförmig einzieht, sich zu einem flaschenförmigen Hohlraume erweitert, bis der Hals der Flasche sich zuletzt ganz abschnürt. Die Oberhautzellen dieses abgeschnürten Säckchens klären sich zur Substanz der Linse; die Haut selbst wird zur Linsenkapsel, ihr lockeres Unterhautbindegewebe zur sulzigen Masse des Glaskörpers. Die Abschnürungsnarbe zeigt sich noch im entoptischen Bilde mancher erwachsenen Augen.

Wir können hier endlich gewisse Unregelmässigkeiten des Grundes nicht unerwähnt lassen, auf welchem das optische Bild des Auges aufgefangen wird. Erstens hat die Netzhaut nicht sehr weit von der Mitte des Gesichtsfeldes eine Lücke; da nämlich, wo der Sehnerv in das Auge tritt. Hier ist die ganze Masse der Membran von den eintretenden Sehnervenfasern gebildet, und es fehlen die eigentlich lichtempfindlichen Elemente, die Zapfen. Daher wird Licht, das auf diese Stelle fällt, auch nicht empfunden. Dieser Lücke in dem Mosaik der Zapfen, dem sogenannten blind Flecke, entspricht eine Lücke im Gesichtsfelde, in deren dehnung nichts wahrgenommen wird. Fig. 46 stellt die i Ansicht der hinteren Hälfte eines querdurchschnittenen Aug dar. Man sieht zunächst die Netzhaut *R* vor sich mit baumförmig verästelten Gefässen. Der Punkt, von wo aus

sich verzweigen, ist die Eintrittsstelle des Sehnerven. Links daneben ist der gelbe Fleck der Netzhaut angedeutet. Diese Lücke ist gar nicht unbedeutend; sie hat etwa 6 Winkelgrade im horizontalen und 8° im verticalen Durchmesser, und ihr innerer Rand liegt etwa 12° in horizontaler Richtung vom Fixationspunkte aus nach dessen Schläfenseite hin entfernt. Die Methode, wie man die Lücke am leichtesten erkennt, wird vielen meiner Leser bekannt sein. Man zeichne auf weisses Papier, horizontal neben einander, links ein kleines Kreuzchen, rechts etwa drei Zoll davon entfernt einen kreisförmigen schwarzen Fleck, von einem halben Zoll Durchmesser. Man schliesse das linke Auge, betrachte mit dem rechten unverwandt das Kreuzchen, und bringe das Papier langsam aus grösserer Entfernung dem Auge näher. In etwa elf Zoll Entfernung wird der schwarze Kreis verschwinden und erst wieder erscheinen, wenn man das Papier noch mehr nähert.

Fig. 46.



$\frac{2}{1}$

Die Lücke ist gross genug, dass in ihr horizontal neben einander elf Vollmonde oder ein 6 bis 7 Fuss entferntes menschliches Gesicht verschwinden könnten. Mariotte, der das Phänomen entdeckt hatte, amüsirte König Karl II. von England und seine Hofleute damit, dass er sie lehrte, wie sie sich gegenseitig ohne Kopf erblicken könnten.

Eine Anzahl kleinerer spaltförmiger Lücken, in denen kleinere helle Punkte, zum Beispiel einzelne Fixsterne, verschwinden können, entsprechen den grösseren Gefässstämmen der Netzhaut. Die Gefässe liegen nämlich in den vorderen Schichten dieser Membran, und werfen deshalb ihren Schatten auf die hinter ihnen liegenden Theile des lichtempfindlichen Mosaiks. Die dickeren halten das Licht ganz ab, die dünneren schwächen es wenigstens. Diese Schatten der Netzhautgefässe können auch im Gesichtsfelde zur Erscheinung kommen, zum Beispiel, wenn man in ein Kartenblatt mit der Nadel eine feine Oeffnung macht, und durch diese nach dem hellen Himmel sieht, während man das Blatt mit der Oeffnung fortdauernd ein wenig hin und her bewegt. Noch schöner

sieht man die Schatten, wenn man durch eine kleine Brennlinse Sonnenlicht auf die weisse Sehnenhaut des Auges am äusseren Augenwinkel concentrirt, während man das Auge gegen die Nase hinwendet. Sie erscheinen dann in der baumförmig verästelten Form, wie sie Fig. 46 darstellt, aber in riesiger Grösse. Es liegen diese Gefässe, welche den Schatten geben, in den vorderen Schichten der Netzhaut selbst, und natürlich können ihre Schatten nur empfunden werden, wenn durch sie die eigentlich lichtempfindliche Schicht der Netzhaut getroffen wird. Daraus folgt, dass die hinteren Schichten der Netzhaut lichtempfindlich sein müssen. Ja mittelst dieses Phänomens der Gefässschatten ist sogar die Entfernung zwischen der lichtempfindlichen Schicht der Netzhaut und ihren Gefässe führenden Schichten messbar geworden. Wenn man nämlich den Brennpunkt des auf der Sehnenhaut concentrirten Lichtes ein wenig verschiebt, bewegt sich auch der Schatten auf der Netzhaut und ebenso sein Abbild im Gesichtsfelde. Die Grösse dieser Verschiebungen kann leicht gemessen werden, und daraus hat der leider der Wissenschaft zu früh entrissene Heinrich Müller in Würzburg jenen Abstand berechnet, und ihn gleich gefunden dem Abstande zwischen der gefässführenden Schicht und den Zapfen.

Die Stelle des deutlichsten Sehens zeichnet sich übrigens in anderer Beziehung wieder zu ihrem Nachtheile aus; sie ist nämlich weniger empfindlich für schwaches Licht, als die übrige Netzhaut. Es ist seit alter Zeit bekannt, dass man eine Anzahl schwächerer Sterne, zum Beispiel das Haar der Berenice, die Plejaden, heller sieht, wenn man nach einem etwas seitwärts gelegenen Punkte blickt, als wenn man sie direct fixirt. Dies rührt zum Theil nachweisbar von der gelben Färbung dieser Stelle her, da blaues Licht dort am meisten geschwächt wird; zum Theil mag es auch von dem Mangel der Gefässe in der genannten Stelle bedingt sein, den wir schon erwähnt haben; dadurch wird nämlich ihr Verkehr mit dem lebenden Blute erschwert.

Alle diese Unregelmässigkeiten würden nun in einer künstlichen Camera obscura, oder in dem von ihr erzeugten photographischen Bilde äusserst störend sein. Im Auge stören sie nicht so wenig sogar, dass es theilweise recht schwer war, sie überhaupt aufzufinden. Der Grund, warum sie die Wahrnehmung der äusseren Objecte nicht stören, liegt nicht allein darin, dass wir mit zwei Augen sehen, und dass, wo das eine Auge schlecht sieht, in der Regel das andere genügende Auskunft giebt. Denn auch beim

Sehen mit einem Auge und bei Einäugigen ist das Anschauungsbild, das wir vom Gesichtsfelde haben, frei von den Störungen, welche die Unregelmässigkeiten des Netzhautgrundes sonst veranlassen könnten. Der Hauptgrund ist vielmehr wieder in den fortdauernden Bewegungen des Auges zu suchen, und darin, dass die Fehler fast immer nur in diejenigen Stellen des Gesichtsfeldes fallen, von denen wir zur Zeit unsere Aufmerksamkeit abwenden.

Dass wir aber diese und andere dem Auge selbst angehörige Gesichtserscheinungen so schwer bemerken, wie zum Beispiel die Nachbilder heller Objecte, so lange sie nicht stark genug werden, um die Wahrnehmung äusserer Gegenstände zu hindern, ist eine andere sehr wunderliche und paradoxe Eigenthümlichkeit unserer Sinneswahrnehmungen, die nicht bloss beim Gesichtssinn. sondern auch bei den anderen Sinnen sich regelmässig wiederholt. Am besten zeigt sich dies in der Geschichte der Entdeckungen dieser Phänomene. Einzelne von ihnen, wie zum Beispiel der blinde Fleck, sind durch theoretische Ueberlegungen gefunden worden. In dem lange geführten Streite, ob die Netzhaut oder die Aderhaut den Sitz der Lichtempfindung enthalte, fragte sich Mariotte, wie denn die Empfindung dort sich verhalte, wo die Aderhaut durchbohrt sei. Er stellte also besondere Versuche für diesen Zweck an und entdeckte die Lücke im Gesichtsfelde. Jahrtausende lang hatten Millionen von Menschen ihr Auge gebraucht, Tausende von ihnen hatten über dessen Wirkungen und ihre Ursachen nachgedacht, und schliesslich gehörte eine solche besondere Verkettung von Umständen dazu, um ein so einfaches Phänomen, das, wie man denken sollte, sich der unmittelbarsten Wahrnehmung ergeben müsste, zu bemerken; und noch jetzt findet ein Jeder, der zum ersten Male in seinem Leben die Versuche über den blinden Fleck wiederholt, eine gewisse Schwierigkeit, seine Aufmerksamkeit von dem Fixationspunkte des Blicks abzulenken, ohne diesen selbst zu verrücken. Ja, es gehört eine lange Gewöhnung an optische Versuche dazu, bis selbst ein geübter Beobachter im Stande ist, beim Schliessen eines Auges sogleich im Gesichtsfelde die Stelle zu erkennen, wo sich die Lücke befindet.

Andere der hierher gehörigen Erscheinungen sind durch Zufall und dann meist auch nur von besonders in dieser Beziehung begabten Individuen, deren Aufmerksamkeit dafür mehr als bei Anderen geschärft war, entdeckt worden. Unter diesen Beobachtern sind besonders Goethe, Purkinje und Johannes Müller zu nennen. Sobald ein anderer Beobachter ein anderes Phänomen,

das er aus der Beschreibung kennt, in seinen eigenen Augen wiederzusuchen unternimmt, gelingt ihm dies wohl leichter, als ein neues zu entdecken; und doch ist eine grosse Zahl der Erscheinungen, welche Purkinje beschreibt, von Anderen noch nicht wiedergesehen worden, ohne dass man mit Sicherheit behaupten könnte, dass dieselben nur individuelle Eigenthümlichkeiten der Augen dieses scharfsichtigen Beobachters gewesen wären.

Die bisher genannten Erscheinungen und eine ganze Reihe von anderen kann man unter die allgemeine Regel bringen, dass eine Aenderung des Erregungsgrades eines Empfindungsnerven viel leichter wahrgenommen wird, als eine gleichmässig andauernde Erregung. Dieser Regel entspricht es, dass alle gleichmässig das ganze Leben hindurch stattfindenden Besonderheiten in der Erregung einzelner Fasern, wie die Gefässschatten des Auges, die gelbe Färbung des Netzhautcentrums, die meisten festen entoptischen Objecte gar nicht wahrgenommen werden, und dass ungewöhnliche Arten der Beleuchtung, namentlich aber fortdauernder Wechsel ihrer Richtung dazu gehört, sie wahrnehmbar zu machen.

Nach dem, was wir bisher über die Nervenerregung wissen, erscheint es mir höchst unwahrscheinlich, dass wir es hier mit einem reinen Phänomen der Empfindung zu thun haben. Ich glaube es vielmehr für ein Phänomen der Aufmerksamkeit erklären zu müssen, und wollte hier nur vorläufig auf seine Existenz aufmerksam machen, weil die Frage, die sich uns hier schon aufdrängt, erst später in ihrem richtigen Zusammenhange beantwortet werden kann.

So viel über die physikalischen Leistungen des Auges. Wenn man mich fragt, warum ich so weitläufig von dessen Unvollkommenheiten gesprochen habe, so antworte ich, dass dies nicht geschehen ist, wie auch meine vorausgeschickten Verwahrungen bezeugen sollten, um die Leistungen des kleinen Organs herabzusetzen und die Bewunderung dafür zu vermindern. Es kam mir darauf an, schon in diesem Gebiete den Leser darauf aufmerksam zu machen, dass es nicht die mechanische Vollkommenheit der Sinneswerkzeuge ist, welche uns diese wunderbar treu und genauen Eindrücke verschafft. Der nächste Abschnitt unse Untersuchung wird uns noch viel kühnere und paradoxere I gruenzen kennen lehren. Wir sahen bisher, dass das Aug sich als optisches Instrument durchaus nicht so vollkommen wie es scheint, sondern so Ausserordentliches nur leistet bei

besonderen Art, wie wir es gebrauchen. Seine Vollkommenheit ist eine rein praktische, keine absolute; sie besteht nicht darin, dass alle Fehler vermieden sind, sondern darin, dass alle diese Fehler den nützlichsten und mannigfaltigsten Gebrauch nicht unmöglich machen.

In dieser Beziehung gewährt das Studium des Auges einen tiefen Blick in den Charakter der organischen Zweckmässigkeit überhaupt, einen Blick, der um so interessanter ist, wenn wir ihn mit den grossen und kühnen Gedanken in Beziehung setzen, welche neuerdings Darwin über die Art der fortschreitenden Vervollkommnung der organischen Geschlechter in unsere Wissenschaft geworfen hat. Auch wo wir sonst in die organischen Bildungen hineinblicken, finden wir überall den gleichen Charakter praktischer Zweckmässigkeit, nur können wir denselben vielleicht nirgends so in das Einzelne verfolgen, wie beim Auge Das Auge hat alle möglichen Fehler optischer Instrumente, einzelne sogar, die wir an künstlichen Instrumenten nicht leiden würden, aber sie sind alle in solchen Grenzen gehalten, dass die durch sie bewirkte Ungenauigkeit des Bildes unter gewöhnlichen Bedingungen der Beleuchtung das Maass nicht weit überschreitet, welches der Feinheit der Wahrnehmung durch die Feinheit der lichtempfindenden Zapfen gesetzt ist. So wie man dagegen unter etwas veränderten Umständen beobachtet, bemerkt man die Farbenzerstreuung, den Astigmatismus, die Lücken, die Gefässschatten, die unvollkommene Durchsichtigkeit der Medien und so fort.

Was also die Anpassung des Auges an seinen Zweck betrifft, so ist sie im vollkommensten Maasse vorhanden, und zeigt sich gerade auch in der Grenze, die seinen Fehlern gezogen ist. Hier fällt freilich das, was die Arbeit unermesslicher Reihen von Generationen unter dem Einfluss des Darwin'schen Erblichkeitsgesetzes erzielen kann, mit dem zusammen, was die weiseste Weisheit vorbedenkend ersinnen mag. Ein verständiger Mann wird Brennholz nicht mit einem Rasirmesser spalten wollen, und dem entsprechend mögen wir annehmen, dass jede Verfeinerung im optischen Bau des Auges das Organ verletzlicher oder langsamer in seiner Entwickelung gemacht haben würde. Auch müssen wir berücksichtigen, dass weiche, mit Wasser durchzogene thierische Gewebe immerhin ein ungünstiges und schwieriges Material für ein physikalisches Instrument sind.

Eine Folge dieser Einrichtung, deren Wichtigkeit später noch

hervortreten wird, ist, dass nur bei der schon oben theilweise beschriebenen, besonderen Art, unseren Blick im Gesichtsfelde herumzuführen, ungestört deutliche Wahrnehmungen möglich sind. Andere Umstände, die mit den beschriebenen in gleicher Richtung wirken, werden wir später noch kennen lernen.

Sonst sind wir bis jetzt dem Verständniss des Sehens scheinbar nicht viel näher gekommen. Nur eines haben wir gelernt, nämlich wie es durch die Einrichtung des optischen Apparats des Auges möglich gemacht wird, das Licht, das von verschiedenen Punkten des Gesichtsfeldes her vermischt in unser Auge dringt, wieder zu sondern und alles, was von einem Punkte ausgegangen ist, wieder in einer Nervenfaser zur Empfindung zu bringen.

Sehen wir also zunächst, ob das, was wir von den Empfindungen des Auges wissen, uns der Lösung des Räthsels näher bringen wird.

II.

Die Gesichtsempfindungen.

Wir haben im ersten Abschnitt unseres Berichtes den Gang der Lichtstrahlen bis zur Netzhaut des Auges verfolgt und gesehen, wie durch die besondere Einrichtung des optischen Apparates bewirkt wird, dass das von den einzelnen leuchtenden Punkten der Aussenwelt ausgegangene Licht sich in den empfindlichen Endapparaten einzelner Nervenfasern wieder vereinigt, so dass es nur diese allein, nicht aber ihre Nachbarn in Erregung versetzt. Hier glaubte die ältere Physiologie ihre Aufgabe gelöst zu haben, soweit sie ihr lösbar erschien. In der Netzhaut traf das äussere Licht unmittelbar auf empfindende Nervensubstanz und konnte von dieser, wie es schien, direct empfunden werden.

Im vorigen Jahrhundert aber und namentlich im ersten Viertel dieses Jahrhunderts wurde die Kenntniss von den Vorgängen im Nervensystem so weit ausgebildet, dass Johannes Müller, damals noch in Bonn, später in Berlin, schon im Jahre 1826 in seinem Epoche machenden Werke: „Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes“ die wichtigsten Grundzüge für die Lehre von dem Wesen der Sinnesempfindungen hinstellen konnte. Grundzüge, welche durch die Forschungen der darauf folgenden Zeit in allen wesentlichen Stücken nicht nur bestätigt wurden, sondern sich von noch weitergehender Anwendbarkeit erwiesen, als der berühmte Physiolog nach den ihm vorliegenden Thatsachen damals vermuthen konnte. Die von ihm aufgestellten Sätze werden gewöhnlich unter dem Namen der Lehre von den specifischen Sinnesenergien zusammengefasst. Diese Sätze sind also nicht mehr so neu und so unbekannt, dass sie zu

den neuesten Fortschritten der Theorie des Sehens, von denen dieser Bericht handeln soll, zu rechnen wären; auch sind sie öfters, von Anderen sowohl wie von mir selbst [1]), populär dargestellt worden. Aber der ganze hierher gehörige Theil der Lehre vom Sehen ist kaum etwas Anderes, als eine weitere Entwickelung und Durchführung der Lehre von den specifischen Sinnesenergien, und ich muss deshalb den Leser um Verzeihung bitten, wenn ich, um den Zusammenhang des Ganzen übersichtlich zu erhalten, ihm hier mancherlei Bekanntes wieder vorführe, vermischt mit dem Neuen, was ich an seiner Stelle einschalten werde.

Alles, was wir von der Aussenwelt wahrnehmen, nehmen wir dadurch wahr, dass gewisse Veränderungen, die durch äussere Eindrücke in unseren Sinnesorganen hervorgebracht worden sind, durch die Nerven zum Gehirne fortgeleitet werden; hier erst kommen sie zum Bewusstsein und werden mit einander zu Vorstellungen der Objecte verbunden. Durchschneiden wir den leitenden Nerven, so dass die Fortleitung des Eindruckes zum Gehirn aufgehoben wird, so hört damit auch die Empfindung und die Perception des Eindruckes auf. Für das Auge speciell liegt der Beweis dafür, dass die Gesichtsanschauung nicht unmittelbar in jeder Netzhaut, sondern erst mittelst des fortgeleiteten Eindruckes der Netzhäute im Gehirn zu Stande kommt, darin, dass das Gesichtsbild eines körperlich ausgedehnten Gegenstandes von drei Dimensionen erst durch die Verschmelzung und Verbindung der Eindrücke beider Augen zu Stande kommt. Wir werden dies später noch näher erörtern.

Was wir also unmittelbar wahrnehmen, ist niemals die directe Einwirkung des äusseren Agens auf die Enden unserer Nerven, sondern stets nur die von den Nerven fortgeleitete Veränderung, welche wir als den Zustand der Reizung oder Erregung des Nerven bezeichnen.

Nun sind alle Nervenfäden des Körpers, so weit die bisher gesammelten Thatsachen es erkennen lassen, von derselben Structur, und die Veränderung, welche wir ihre Erregung nennen, ist in allen ein Vorgang von genau derselben Art, so vielfach verschiedenen Thätigkeiten auch die Nerven im Körper dienen. Denn

[1]) „Ueber die Natur der menschlichen Sinnesempfindungen“ in Königsberger naturwissenschaftlichen Unterhaltungen, Bd. III, 1852 meine „Wissenschaftl. Abhandl.“, Bd. II, S. 591). „Ueber das Seh Menschen, ein populär wissenschaftlicher Vortrag von H. Helmh Königsberg, 1855.“ (Siehe S. 365 dieses Bandes.)

sie haben nicht allein die schon erwähnte Aufgabe, Empfindungseindrücke von den äusseren Organen her zum Gehirn zu leiten; andere Nerven leiten im Gegentheil Anstösse, die die Willensthätigkeit hervorbringt, vom Gehirn aus zu den Muskeln, und bringen diese in Zusammenziehung und dadurch die Glieder des Körpers in Bewegung. Andere leiten die Thätigkeit vom Gehirn zu gewissen Drüsen und rufen deren Secretion hervor, oder zum Herzen und den Gefässen, wo sie den Blutlauf regeln, und so weiter. Aber die Fasern aller dieser Nerven sind die gleichen mikroskopisch feinen, glashellen, cylindrischen Fäden mit demselben theils öligen, theils eiweissartigen Inhalt. Zwar besteht ein Unterschied ihrer Dicke, der aber, so weit wir erkennen können, nur von nebensächlichen Verhältnissen, von der Rücksicht auf die nöthige Festigkeit und auf die nöthige Anzahl unabhängiger Leitungswege abhängt, ohne in einer wesentlichen Beziehung zur Verschiedenheit ihrer Wirkungen zu stehen. Alle haben auch, wie aus den Untersuchungen namentlich von Emil du Bois-Reymond hervorgeht, dieselben elektromotorischen Wirkungen, in allen wird der Zustand der Erregung durch dieselben mechanischen, elektrischen, chemischen oder Temperaturveränderungen hervorgerufen, wird mit derselben messbaren Geschwindigkeit von etwa hundert Fuss in der Secunde nach beiden Enden der Faser hin fortgepflanzt, und bringt dabei dieselben Abänderungen in ihren elektromotorischen Eigenschaften hervor. Alle endlich sterben unter denselben Bedingungen ab und erleiden entsprechende, nur nach ihrer Dicke etwas verschieden erscheinende Gerinnungen ihres Inhalts beim Absterben. Kurz alles, was wir über die verschiedenen Arten der Nerven ermitteln können, ohne dass dabei die anderen Organe des Körpers mitwirken, mit denen sie verbunden sind, und an denen im lebenden Zustande die Wirkungen ihrer Erregung zu Tage kommen, alles das ist für die verschiedenen Arten der Nerven durchaus gleich. Ja es ist in neuester Zeit zwei französischen Physiologen, Philippeau und Vulpian, gelungen, die obere Hälfte des durchschnittenen Empfindungsnerven der Zunge mit dem unteren Ende des gleichfalls durchschnittenen Bewegungsnerven der Zunge zusammenzuheilen. Erregung des oberen Stückes, welche sich unter normalen Verhältnissen als Empfindung äussert, wurde bei dieser veränderten Verbindung auf den angeheilten Bewegungsnerven und die Muskelfasern der Zunge übertragen, und erschien nun als motorische Erregung.

Wir schliessen daraus, dass alle Verschiedenheit, welche die

Wirkung der Erregung verschiedener Nervenstämme zeigt, nur von der Verschiedenheit der Organe abhängt, mit welchen der Nerv verbunden ist, und auf die er den Zustand seiner Erregung überträgt.

Man hat die Nervenfäden oft mit den Telegraphendrähten verglichen, welche ein Land durchziehen; und in der That ist dieser Vergleich in hohem Grade geeignet, eine hervorstechende und wichtige Eigenthümlichkeit ihrer Wirkung klar zu machen. Denn es sind in dem Telegraphennetze überall dieselben kupfernen oder eisernen Drähte, welche dieselbe Art von Bewegung, nämlich einen elektrischen Strom, fortleiten, dabei aber die verschiedenartigsten Wirkungen in den Stationen hervorbringen, je nach den Hülfsapparaten, mit denen sie verbunden werden. Bald wird eine Glocke geläutet, bald ein Zeigertelegraph, bald ein Schreibtelegraph in Bewegung gesetzt; bald sind es chemische Zersetzungen, durch welche die Depesche notirt wird. Ja auch Erschütterungen der menschlichen Arme, wie sie der elektrische Strom hervorbringt, können als telegraphische Zeichen benutzt werden, und bei der Legung des atlantischen Kabels fand William Thomson, dass die allerschwächsten Signale noch durch Geschmacksempfindungen erkannt werden konnten, wenn man die Drähte an die Zunge legte. Wieder in anderen Fällen benutzen wir Telegraphendrähte, um durch starke elektrische Ströme Minen zu sprengen. Kurz jede von den hundertfältig verschiedenen Wirkungen, welche elektrische Ströme überhaupt hervorbringen, kann ein nach jedem beliebig entlegenen Orte hingelegter Telegraphendraht veranlassen, und immer ist es derselbe Vorgang im Drahte, der alle diese verschiedenen Wirkungen hervorruft.

So sind Telegraphendrähte und Nerven sehr auffällige Beispiele zur Erläuterung des Satzes, dass gleiche Ursachen unter verschiedenen Bedingungen verschiedene Wirkungen haben können. So trivial uns dieser Satz auch klingen mag, so lange und schwer hat doch die Menschheit gearbeitet, ehe sie ihn begriffen und an Stelle der früher vorausgesetzten Gleichartigkeit von Ursache und Wirkung gesetzt hat. Und man kann kaum behaupten, dass seine Anwendung uns schon ganz g geworden sei. Gerade auf dem Gebiete, welches uns hier v hat sich das Widerstreben gegen seine Consequenzen bis neueste Zeit hinein erhalten.

Während also gereizte Muskelnerven Bewegung, Drüsennerven Secretion verursachen, bringen Empfindung

wenn sie gereizt werden, Empfindung hervor. Nun haben wir aber sehr verschiedene Arten der Empfindung. Vor Allem zerfallen die auf Dinge der Aussenwelt bezüglichen Empfindungen in fünf von einander gänzlich getrennte Gruppen, den fünf Sinnen entsprechend, deren Verschiedenheit so gross ist, dass es nicht einmal möglich ist, eine Lichtempfindung und Tonempfindung oder Geruchempfindung in Bezug auf ihre Qualität mit einander zu vergleichen. Wir wollen diesen Unterschied, welcher also viel eingreifender als der Unterschied vergleichbarer Qualitäten ist, den Unterschied des Modus der Empfindung nennen; dagegen den Unterschied zwischen Empfindungen, die demselben Sinne angehören, zum Beispiel den zwischen den verschiedenen Farbenempfindungen, als einen Unterschied der Qualität bezeichnen.

Ob wir bei der Reizung eines Nervenstammes eine Muskelbewegung, eine Secretion oder eine Empfindung hervorbringen, hängt davon ab, ob wir einen Muskelnerven, einen Drüsennerven oder einen Empfindungsnerven getroffen haben, und gar nicht davon, welche Art der Reizung angewendet worden ist, ob ein elektrischer Schlag, oder eine Zerrung, oder eine Durchschneidung des Nerven, oder ob wir ihn mit Kochsalzlösung benetzt, oder mit einem heissen Drahte berührt haben. Ebenso — und das war der grosse Fortschritt, den Johannes Müller machte — hängt der Modus der Empfindungen, wenn wir einen empfindenden Nerven erregen, ob Licht oder Schall, ob Tastgefühl, Geruch oder Geschmack empfunden werde, ebenfalls nur davon ab, welchem Sinne der gereizte Nerv angehört, nicht aber von der Art, wie er gereizt wurde.

Wenden wir dies auf den Sehnerven an, der uns hier vor Allem beschäftigt. Zunächst wissen wir, dass keine Einwirkungen, welcher Art sie auch sein mögen, auf irgend einen Theil des Körpers, ausser auf das Auge und den zu ihm gehörigen Sehnerven, Lichtempfindungen hervorrufen können. Andererseits ist es nicht allein das äussere Licht, das im Auge Lichtempfindung hervorrufen kann, sondern auch jede andere Art der Einwirkung, die einen Nerven zu erregen im Stande ist. Elektrische Strömungen der allerschwächsten Art, durch das Auge geleitet, erregen Lichtblitze. Ein Stoss oder auch ein schwacher Druck, mit dem Fingernagel gegen die Seite des Augapfels ausgeübt, erregen im dunkelsten Raume Lichtempfindungen und zwar unter günstigen Umständen ziemlich intensive. Dabei wird, wie wohl zu be-

merken ist, nicht etwa objectives Licht in der Netzhaut entwickelt, wie einige ältere Physiologen angenommen haben. Denn die Lichtempfindung kann intensiv genug sein, dass, wenn sie wirklich durch eine Lichtentwickelung in der Netzhaut erregt worden wäre, ein zweiter Beobachter ohne Schwierigkeit die zu ihrer Hervorbringung nöthige Erhellung der Netzhaut von vorn her durch die Pupille sehen müsste. Davon ist aber nicht die leiseste Spur vorhanden. Ein Druck, ein elektrischer Strom erregt wohl den Sehnerven und also dem Müller'schen Gesetz entsprechend Lichtempfindung, aber, unter den hier vorkommenden Umständen wenigstens, nicht die kleinste Menge wirklichen Lichtes.

Ebenso kann auch Andrang des Blutes zum Auge, abnorme Zusammensetzung desselben in fieberhaften Krankheiten oder die Einführung berauschender und narkotischer Stoffe Lichtempfindungen im Sehnervenapparate hervorbringen, denen kein äusseres Licht entspricht. Ja sogar in Fällen, wo durch Verletzung oder Operation ein Auge ganz verloren ist, kann der Wundreiz am Nervenstumpfe noch phantastische Lichtempfindungen erzeugen.

Es folgt daraus zunächst, dass der eigenthümliche Modus, wodurch die Lichtempfindung sich von allen anderen Empfindungen unterscheidet, nicht etwa von ganz besonders eigenthümlichen Eigenschaften des äusseren Lichtes abhängt und solchen entspricht, sondern dass jede Einwirkung, welche eben fähig ist den Sehnerven in Erregungszustand zu versetzen, Lichtempfindung hervorbringt; eine Empfindung, welche derjenigen, die durch äusseres Licht entsteht, so ununterscheidbar ähnlich ist, dass Leute, die das Gesetz dieser Erscheinungen nicht kennen, sehr leicht in den Glauben verfallen, sie hätten eine wirkliche objective Lichterscheinung gesehen.

Das äussere Licht bewirkt also im Sehnerven nichts Anderes, als was auch Agentien von ganz verschiedener Natur bewirken können. Nur in einer Beziehung ist es den übrigen Erregungsmitteln dieses Nerven gegenüber bevorzugt, darin nämlich, dass der Sehnerv, in der Tiefe des prallen Augapfels und der knöchernen Augenhöhle verborgen, der Einwirkung aller anderen Erregungsmittel fast ganz entzogen ist, und von ihnen nur selten oder ausnahmsweise getroffen wird, während die Lichtstrahlen durch die durchsichtigen Mittel des Auges fortdauernd ungehindert zu ihm dringen können. Andererseits ist aber auch der Sehnerv wegen der an den Enden seiner Fasern angebrachten bes

Endorgane, der Zapfen und Stäbchen der Netzhaut, unverhältnissmässig empfindlicher gegen die Lichtstrahlen, als irgend ein anderer Nervenapparat des Körpers, da die übrigen nur dann von den Lichtstrahlen afficirt werden, wenn diese hinreichend concentrirt sind, um merkliche Temperaturerhöhungen zu bewirken.

Durch diesen Umstand erklärt es sich, dass für uns die Empfindung im Sehnervenapparat das gewöhnliche sinnliche Zeichen für die Anwesenheit von Licht im Gesichtsfelde ist, und dass wir Licht und Lichtempfindung immer verbunden glauben, selbst wo sie es nicht sind, während wir doch, sobald wir die Thatsachen in ihrem ganzen Zusammenhange überblicken, nicht daran zweifeln können, dass das äussere Licht nur einer der Reize ist, welcher, wie auch andere Reize, den Sehnerven in erregten Zustand versetzen kann, und dass also keineswegs eine ausschliessliche Beziehung zwischen Licht und Lichtempfindung besteht.

Nachdem wir so die Einwirkung der Reize auf die Sinnesnerven im Allgemeinen besprochen haben, wollen wir dazu übergehen, die qualitativen Unterschiede der Lichtempfindung insbesondere, nämlich die Empfindungen verschiedener Farben, kennen zu lernen und namentlich zuzusehen, inwiefern diese Unterschiede der Empfindung wirklichen Unterschieden der Körperwelt entsprechen.

Die Physik weist uns nach, dass das Licht eine sich wellenförmig verbreitende schwingende Bewegung eines durch den Weltraum verbreiteten elastischen Mittels ist, welches sie den Lichtäther nennt; eine Bewegung ähnlicher Art, wie die Wellenringe, die sich auf einer von einem Stein getroffenen ebenen Wasserfläche ausbreiten, oder wie die Erschütterung, welche sich durch unseren Luftkreis als Schall fortpflanzt; nur dass sowohl die Ausbreitung des Lichtes, als auch die Geschwindigkeit, mit der die einzelnen von den Lichtwellen bewegten Theilchen hin und her gehen, ausserordentlich viel grösser ist, als die der Wasser- und Schallwellen.

Nun gehen von der Sonne Lichtwellenzüge aus, die durch ihre Grössenverhältnisse beträchtlich von einander unterschieden sind, so wie wir auch auf einer Wasserfläche bald kleines Gekräusel, d. h. kurze Wellen, deren Wellenberge einen oder einige Zoll von einander abstehen, sehen können, bald die langen Wogen des Oceans, zwischen deren schäumenden Kämmen Thäler von 60, ja selbst 100 Fuss Breite gelegen sind. Aber wie hohe und niedrige, kurze und lange Wellen einer Wasserfläche nicht der

Art, sondern nur der Grösse nach von einander unterschieden sind, so sind die verschiedenen Lichtwellenzüge, die von der Sonne ausgehen, zwar ihrer Stärke und ihrer Wellenlänge nach unterschieden, führen aber übrigens alle dieselbe Art der Bewegung aus. Alle zeigen, wenn auch natürlich mit gewissen von dem Werth ihrer Wellenlänge abhängigen Unterschieden, dieselben merkwürdigen physikalischen Eigenschaften der Spiegelung, Brechung, der Interferenz, Diffraction, Polarisation, aus denen geschlossen werden muss, dass die schwingende Bewegung des Lichtäthers in ihnen allen derselben Art ist. Namentlich ist zu erwähnen, dass die Erscheinungen der Interferenz, bei denen Licht durch gleichartiges Licht je nach der Länge des zurückgelegten Weges bald verstärkt, bald vernichtet wird, erweisen, dass alle diese Strahlungen in einer oscillatorischen Wellenbewegung bestehen; ferner dass die Polarisationserscheinungen, bei denen verschiedene Seiten des Strahls sich verschieden verhalten, schliessen lassen, dass die Schwingungsrichtung der bewegten Theilchen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung des Strahls sei.

Allen den genannten verschiedenen Arten von Strahlen ist eine Wirkung gemeinsam, sie erwärmen die irdischen Körper, die sie treffen, und werden dem entsprechend auch alle von unserer Haut als Wärmestrahlen empfunden.

Unser Auge empfindet dagegen nur einen Theil dieser Aetherschwingungen als Licht. Die Wellenzüge von grosser Wellenlänge, die wir den langen Wogen des Oceans vergleichen müssten, empfindet es nämlich gar nicht; wir nennen diese deshalb dunkle strahlende Wärme. Solche Strahlen sind es auch, die von einem heissen, aber nicht glühenden Ofen ausgehen und uns erwärmen, aber uns nicht leuchten.

Dann werden die Wellenzüge kürzester Wellenlänge, die dem kleinsten Gekräusel, das ein leichter Windhauch auf der Oberfläche eines Teiches hervorbringt, entsprechen, von unserem Auge so ausserordentlich schwach empfunden, dass man diese Art der Strahlen ebenfalls für gewöhnlich als unsichtbar betrachtet und sie dunkle chemische Strahlen nennt.

In der Mitte zwischen den zu langen und den zu kurzen Aetherwellen giebt es nun Wellen von mittlerer Länge, die unser Auge kräftig afficiren, die aber in physikalischer Beziehung durchaus nicht wesentlich von den dunklen Wärmestrahlen und von den dunklen chemischen Strahlen unterschieden sind. Ihr Unterschied

von letzteren beiden beruht nur in der verschiedenen Grösse der Wellenlängen und in den damit zusammenhängenden physikalischen Beziehungen. Diese mittleren Strahlen nennen wir Licht, weil sie allein es sind, die unserem Auge leuchten.

Wenn wir die wärmende Eigenschaft dieser Strahlen beachten, nennen wir sie auch leuchtende Wärme, und weil sie auf unsere Haut einen so ganz anderen Eindruck machen als auf unser Auge, hat man bis vor etwa 30 Jahren allgemein das Wärmende für eine ganz andere Art von Ausstrahlung gehalten, als das Leuchtende. Aber beides ist in den leuchtenden Sonnenstrahlen absolut dasselbe und nicht von einander zu trennen, wie die neueren sorgfältigsten physikalischen Untersuchungen zeigen. Es ist nicht möglich, gleichviel welchen optischen Prozessen man sie unterwerfe, ihre Leuchtkraft zu schwächen, ohne auch gleichzeitig und in demselben Verhältnisse ihre wärmende und ihre chemische Wirkung zu verringern. Jeder Vorgang, der die schwingende Bewegung des Aethers aufhebt, hebt natürlich auch alle Wirkungen dieser schwingenden Bewegung auf, das Leuchten, das Wärmen, die chemische Wirkung, die Erregung der Fluorescenz u. s. w.

Diejenigen Aetherschwingungen nun, welche unser Auge stark afficiren, und die wir Licht nennen, erregen je nach der Verschiedenheit ihrer Wellenlänge den Eindruck verschiedener Farbe. Die von grösserer Wellenlänge erscheinen uns roth, daran schliessen sich mit allmählich abnehmender Wellenlänge goldgelbe, gelbe, grüne, blaue, violette, letztere haben unter den leuchtenden die kürzeste Wellenlänge. Allbekannt ist diese Farbenreihe vom Regenbogen her; wir sehen sie, wenn wir durch ein Glasprisma nach einem Lichte blicken; ein farbenspielender Diamant wirft sie ebenfalls in dieser Reihenfolge nach verschiedenen Richtungen hin. In den genannten durchsichtigen Körpern trennt sich nämlich das verschiedenfarbige elementare Licht verschiedener Wellenlänge durch die schon im ersten Abschnitt erwähnte verschiedene Stärke der Brechung von einander, und so erscheint dann jedes in seiner besonderen Farbe für sich. Diese Farben der verschiedenen einfachen Lichtarten, wie sie uns am besten das von einem Glasprisma entworfene Spectrum einer schmalen Lichtlinie zeigt, sind zugleich die glänzendsten und am meisten gesättigten Farben, welche die Aussenwelt aufzuweisen hat.

Mehrere solche Farben zusammengemischt geben den Eindruck einer neuen, meist mehr oder weniger weisslichen Farbe.

Werden sie alle genau in demselben Verhältnisse, wie sie im Sonnenlichte enthalten sind, gemischt, so geben sie den Eindruck von Weiss. Je nachdem dagegen die Strahlen grösserer, mittlerer oder kleinster Wellenlänge vorherrschen, erscheint ein solches Gemisch röthlichweiss, grünlichweiss, bläulichweiss u. s. w. Wer je der Arbeit eines Malers zugesehen hat, weiss, dass zwei Farben mit einander gemischt eine neue Farbe geben. Wenn nun auch im Einzelnen die Resultate der Mischung farbigen Lichtes von denen der Mischung von Malerfarben vielfach abweichen, so ist doch im Ganzen die Erscheinung in beiden Fällen für das Auge eine ähnliche. Wenn wir einen weissen Schirm, oder auch eine Stelle unserer Netzhaut gleichzeitig mit zweierlei verschiedenem Lichte beleuchten, sehen wir ebenfalls nur eine Farbe statt beider, eine Mischfarbe, mehr oder weniger verschieden von den zwei ursprünglich vorhandenen Farben.

Fig. 47.

Die auffallendste Abweichung zwischen der Mischung aus Malerfarben und der Mischung farbigen Lichtes zeigt sich darin, dass die Maler aus Gelb und Blau Grün mischen, während gelbes und blaues Licht vereinigt Weiss giebt. Die einfachste Art, farbiges Licht zu mischen, ist angedeutet durch Fig. 47; darin ist *p* eine kleine ebene Glasplatte, *b* und *g* sind zwei farbige Oblaten. Der Beobachter sieht *b* durch die Platte hindurch, dagegen *g* sieht er in der Platte gespiegelt; und wenn man *g* richtig legt, fällt das Spiegelbild von *g* gerade mit *b* zusammen. Man glaubt dann bei *b* eine einzige Oblate in der Mischfarbe der beiden wirklichen zu sehen. Hier vereinigt sich wirklich auf dem Wege von *p* zum Auge *o* und auf dessen Netzhaut das Licht, das von *b* kommend die Platte *p* durchdringt, mit dem das von *g* kommend an der Platte *p* gespiegelt wird.

Im Allgemeinen macht also verschiedenartiges Licht, in welchem Wellenzüge von verschiedenen Werthen der Wellenlängen enthalten sind, unserem Auge einen verschiedenen Eindruc nämlich den verschiedener Farbe. Aber die Zahl der wahrnel baren Farbenunterschiede ist viel kleiner, als die der verschi artigen Gemische von Lichtstrahlen, welche die Aussenwelt uns Auge zusenden kann. Die Netzhaut unterscheidet nicht da was nur aus scharlachrothem und grünblauem Lichte zusamm

gesetzt ist, von dem, was aus grüngelbem und violettem, oder aus gelbem und ultramarinblauem Lichte, oder aus rothem, grünem oder violettem, oder aus allen Farben des Spectrum zusammengesetzt ist. Alle diese Gemische erscheinen identisch weiss physikalisch verhalten sie sich sehr verschieden; und es lässt sich sogar keinerlei Art von physikalischer Aehnlichkeit nachweisen, welche die genannten verschiedenen Lichtgemische haben, wenn wir von ihrer Ununterscheidbarkeit für das Auge absehen. So würde zum Beispiel eine mit Roth und Grünblau beleuchtete Fläche in einer Photographie schwarz, eine andere mit Gelbgrün und Violett beleuchtete dagegen sehr hell werden, obgleich beide Flächen dem Auge ganz gleich weiss erscheinen. Ferner würden farbige Körper, mit solchem verschieden zusammengesetzten weissen Lichte erleuchtet, ganz verschieden gefärbt und beleuchtet erscheinen. So oft wir durch ein Prisma dergleichen Licht zerlegten, würde seine Verschiedenheit zu Tage kommen; ebenso, so oft wir durch ein farbiges Glas danach hinsähen.

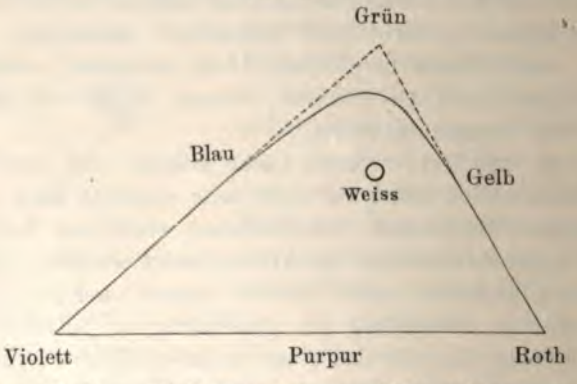
Aehnlich wie rein weisses Licht können nun auch andere Farben, namentlich wenn sie nicht sehr gesättigt sind, aus sehr verschiedenen Mischungen verschiedenen einfachen Lichtes für das Auge ununterscheidbar zusammengesetzt werden, ohne dass dergleichen gleichaussehendes Licht in irgend einer physikalischen oder chemischen Beziehung als gleichartig zu betrachten wäre.

Das System der für das Auge unterscheidbaren Farben hat schon Newton auf eine sehr einfache Weise in ein anschauliches räumliches Bild zu bringen gelehrt, mit dessen Hilfe sich auch das Mischungsgesetz der Farben verhältnissmässig leicht ausdrücken lässt. Man denke sich nämlich längs des Umfangs eines Kreises die Reihe der reinen Spectralfarben passend vertheilt, von Roth anfangend und durch die Reihe der Regenbogenfarben in unmerklicher Abstufung in Violett übergehend; die Verbindung zwischen Roth und Violett endlich hergestellt durch Purpurroth, welches einerseits in das mehr bläuliche Violett, andererseits in das mehr zum Gelb neigende Scharlachroth des Spectrum abgestuft werden kann. In das Centrum des Kreises werde Weiss gesetzt, und auf den Radien, die vom Mittelpunkte nach der Peripherie laufen, bringe man in allmählichen Uebergängen diejenigen Farben an, welche durch Mischung der betreffenden peripherischen gesättigten Farbe mit Weiss entstehen können. Dann zeigt ein solcher Farbenkreis alle Ver-

schiedenheiten, welche die Farben bei gleicher Lichtstärke zeigen können.

Man kann nun, wie sich erweisen lässt, in einer solchen Farbentafel die Vertheilung der einzelnen Farben und das Maass ihrer Lichtstärken so wählen, dass, wenn man für Lichtstärken nach derselben Weise, wie für zwei ihnen proportionale Gewichte, den Schwerpunkt sucht, man die Mischfarbe jeder zwei Farben der Tafel, deren Lichtstärken gegeben sind, in dem Schwerpunkte dieser Lichtquanta findet. Das heisst also: in der richtig construirten Farbentafel findet man die Mischfarben je zweier Farben der Tafel auf der geraden Linie angeordnet, welche die Orte der beiden Farben verbindet, und die Mischfarben, welche mehr von

Fig. 48.



der einen enthalten, sind dieser desto näher gelegen, je mehr sie von ihr, je weniger von der anderen Farbe enthalten.

Nur werden bei der letztgenannten Anordnung die Spectralfarben, welche die gesättigtesten Farben der Aussenwelt sind, und daher am weitesten entfernt vom mittleren Weiss am Umfange der Farbentafel stehen müssen, sich nicht in einen Kreis ordnen. Vielmehr bekommt der Umfang der Figur drei Vorsprünge im Roth, im Grün und im Violett, so dass die ganze Gestalt sich mehr einem Dreiecke mit abgerundeten Ecken nähert, wie Fig. 48 erkennen lässt. In dieser stellt die ausgezogene Grenzlinie die Curve der Spectralfarben dar und der kleine Kreis in der Mitte das Weiss

---

[1]) Ich habe Violett als Grundfarbe nach den Versuchen von J. J. Müller wieder restituirt, während ich in dem ersten Abdruc Abhandlungen der Meinung von Maxwell, dass Blau die Grund gefolgt war.

Während an diesen Ecken selbst die genannten Farben stehen, zeigen die Seiten des Dreiecks die Uebergänge von Roth durch Gelb in Grün, von Grün durch Grünblau und Ultramarinblau in Violett und von Violett durch Purpurroth in Scharlachroth.

Während Newton die räumliche Darstellung des Farbensystems, in etwas anderer Weise geordnet, als wir sie hier beschrieben haben, nur als ein Mittel gebrauchte, eine sinnlich anschauliche Uebersicht der zusammengesetzten Thatsachen dieses Gebietes zu geben, ist es neuerdings Maxwell gelungen, die strenge Richtigkeit der in diesem Anschauungsbilde niedergelegten Sätze auch in quantitativer Beziehung zu erweisen. Es gelang dies mittels der Farbenmischungen auf schnell rotirenden Kreisscheiben, deren Sectoren mit verschiedenen Farben gefärbt sind. Wenn eine solche Scheibe sehr schnell umläuft, so dass das Auge den einzelnen farbigen Sectoren nicht mehr folgen kann, verschmelzen deren Farben in eine gleichmässige Mischfarbe, und es lässt sich die Menge des Lichts, welches jeder Farbe angehört, direct durch die Breite des von ihr bedeckten Kreisausschnittes messen. Die Mischfarben aber, welche auf solche Weise zu Stande kommen, sind genau dieselben, welche bei continuirlicher Beleuchtung derselben Fläche durch die entsprechenden Farben entstehen würden, wie sich experimentell erweisen lässt. So ist Maass und Zahl auch in das scheinbar dafür so unzugängliche Gebiet der Farben hineingetragen, und es sind dessen qualitative Unterschiede auf quantitative Verhältnisse zurückgeführt worden.

Alle Unterschiede der Farbe reduciren sich hiernach auf drei, die wir bezeichnen können als die Unterschiede des Farbentons, der Sättigung und der Helligkeit. Die Unterschiede des Farbentons sind diejenigen, welche zwischen den verschiedenen Farben des Spectrum bestehen, und die wir mit dem Namen Roth, Gelb, Grün, Blau, Violett, Purpur bezeichnen. In Bezug auf den Farbenton bilden also die Farben eine in sich selbst zurücklaufende Reihe, wie wir sie erhalten, wenn wir die Endfarben des Regenbogens durch Pupurroth in einander übergehen lassen, und wie wir sie uns längs des Umfangs der Farbentafel angeordnet denken wollten. Die Sättigung der Farben ist am grössten in den reinen Spectralfarben, wenigstens unter den durch äusseres Licht erzeugbaren Farben; in der Empfindung des Auges ist noch eine Steigerung möglich, wie wir später sehen werden. Die Sättigung wird desto geringer, je mehr Weiss sich

den Farben beimischt. So ist Rosenroth gleich weisslichem Purpur, Fleischroth gleich weisslichem Scharlachroth; Blassgelb, Blassgrün, Weissblau u. s. w. sind dergleichen wenig gesättigte, mit Weiss gemischte Farben. Alle gemischten Farben sind in der Regel weniger gesättigt, als die einfachen Farben des Spectrum. Endlich haben wir noch die in der Farbentafel nicht dargestellten Unterschiede der Helligkeit oder der Lichtstärke. So lange wir farbiges Licht betrachten, erscheinen diese Unterschiede der Helligkeit nur als quantitativ, nicht als qualitativ. Schwarz ist da nur Dunkelheit, also einfach Mangel des Lichts. Anders ist es, wenn wir Körperfarben betrachten; Schwarz entspricht ebenso gut einer besonderen Eigenthümlichkeit einer Körperfläche in der Reflexion des Lichts, wie Weiss, und wird deshalb ebenso gut als Farbe bezeichnet, wie dieses. Und so finden wir in der That in der Sprache noch eine ganze Reihe von Bezeichnungen für lichtschwache Farben. Wir nennen sie dunkel, wenn sie zwar lichtschwach, aber gesättigt, dagegen grau, wenn sie weisslich sind. So ist dunkelblau lichtschwaches gesättigtes Blau, graublau lichtschwaches weissliches Blau. Statt der letzteren Bezeichnung wählt man bei einigen Farben noch besondere Namen. So sind Rothbraun, Braun, Olivengrün lichtschwache, bald mehr, bald weniger gesättigte Abstufungen von Roth, Gelb und Grün.

In dieser Weise wird also für die Empfindung alle mögliche objective Verschiedenheit in der Zusammensetzung des Lichtes auf nur drei Arten von Unterschieden, den des Farbentons, der Sättigung und der Helligkeit, zurückgeführt. In dieser Weise bezeichnet auch die Sprache das System der Farben. Aber wir können diesen dreifachen Unterschied auch noch anders ausdrücken.

Ich sagte oben, die richtig construirte Farbentafel nähere sich in ihrer Umfangslinie einem Dreieck. Setzen wir einen Augenblick voraus, sie sei ein wirkliches geradliniges Dreieck, wie es die punktirte Linie der Fig. 48 andeutet; über die Abweichung dieser Annahme von der Wirklichkeit werden wir uns später zu rechtfertigen haben. Es mögen die Farben Roth, Grün, Violett in den Ecken stehen. Dann ergiebt das oben aufgestellte Mischungsgesetz, dass alle Farben im Inneren und auf den Seiten des Dreieckes zu mischen sein werden aus den drei Farben an den Ecken des Dreieckes. Dann sind also alle Verschiedenheiten der Farbe darauf zurückzuführen, dass sie ver-

schiedenen Mischungsverhältnissen von drei Grundfarben entsprechen. Als die drei Grundfarben wählt man am besten die drei oben genannten. Die älteren drei Grundfarben Roth, Gelb und Blau sind unzweckmässig, nur nach den Mischungen der Malerfarben, gewählt; man kann aus gelbem und blauem Licht kein Grün zusammensetzen.

Das Eigenthümliche, was in dieser Rückführung aller Verschiedenartigkeit in der Zusammensetzung des äusseren Lichtes auf die Mischungen aus drei Grundfarben liegt, wird anschaulicher, wenn wir das Auge in dieser Beziehung mit dem Ohre vergleichen.

Auch der Schall ist, wie ich vorhin schon erwähnte, eine sich wellenförmig ausbreitende schwingende Bewegung; auch beim Schalle haben wir Wellenzüge von verschiedener Wellenlänge zu unterscheiden, die in unserem Ohre Empfindungen von verschiedener Qualität hervorrufen; nämlich die grossen Wellenlängen hören wir als tiefe Töne, die kleinen als hohe. Auch unser Ohr kann gleichzeitig von vielen solchen Wellenzügen, das heisst von vielen Tönen getroffen werden. Aber im Ohre verschmelzen diese Töne nicht zu Mischtönen, in der Art wie gleichzeitig und an gleichem Orte empfundene Farben zu Mischfarben verschmelzen. Wir können nicht statt der beiden gleichzeitig erklingenden Töne *C* und *E* etwa *D* setzen, ohne den Eindruck auf das Ohr gänzlich zu verändern, während das Auge es nicht merkt, wenn wir statt Roth und Gelb Orange substituiren. Der zusammengesetzteste Accord eines vollen Orchesters wird auch für die Empfindung anders, wenn wir irgend einen seiner Töne mit einem oder zwei anderen vertauschen. Kein Accord ist, wenigstens für das geübte Ohr, einem anderen vollkommen gleich, der aus anderen Tönen zusammengesetzt ist. Verhielte sich das Ohr gegenüber den Tönen, wie das Auge gegenüber den Farben, so würde jeder Accord durch die Zusammenstellung von nur drei constanten Tönen, einem sehr tiefen, einem mittleren, einem sehr hohen, vollständig ersetzt werden können, indem man nur das Verhältniss der Stärke dieser drei Töne zu verändern hätte. Alle Musik liesse sich dann auf die Zusammensetzung von nur drei Tönen zurückführen.

Wir finden nun im Gegentheil, dass ein Accord für das Ohr nur dann unverändert bleibt, wenn die Tonstärke jedes einzelnen in ihm enthaltenen Tones sich nicht ändert. Wollte man ihn also genau und vollständig charakterisiren, so müsste die Tonstärke von allen seinen einzelnen Tönen genau bestimmt werden. Ebenso kann die physikalische Natur einer Lichtart vollständig nur da-

durch bestimmt werden, dass man die Lichtstärke aller der einzelnen einfachen Farben, die das Licht enthält, misst und bestimmt. Im Lichte der Sonne, der meisten Sterne und Flammen finden wir aber, dass die Farben continuirlich durch unzählbare Zwischenstufen in einander übergehen. Um solches Licht genau physikalisch zu analysiren, müssten wir also die Lichtintensitäten unendlich vieler Elemente bestimmen. In der Empfindung unseres Auges unterscheiden wir dafür nur die wechselnden Intensitäten dreier Elemente.

Der geübte Musiker ist im Stande, aus den zusammengesetzten Accorden eines ganzen Orchesters die einzelnen Noten der verschiedenen Instrumente unmittelbar herauszuhören. Der Physiker kann die Zusammensetzung des Lichts nicht unmittelbar mit dem Auge erkennen, sondern er muss sein Organ mit dem Prisma bewaffnen, welches ihm das Licht zerlegt. Dann aber tritt die Verschiedenheit des Lichts hervor, und er unterscheidet nach den dunklen und hellen Linien, die das Spectrum ihm zeigt, das Licht der einzelnen Fixsterne von einander, und erkennt, welche chemischen Elemente in irdischen Flammen oder in den glühenden Atmosphären der Sonne, der Fixsterne, der Nebelflecke enthalten sind. Eben darauf, dass das Licht jeder besonderen Lichtquelle in seiner Mischung gewisse unvertilgbare physikalische Eigenthümlichkeiten hat, beruht die Spectralanalyse, diese glänzendste Entdeckung der letzten Jahre, welche der chemischen Analyse die äussersten Fernen der Himmelsräume zugänglich gemacht hat.

Sehr interessant ist nun das gar nicht seltene Vorkommen solcher Augen, welche die Farbenunterschiede auf ein noch einfacheres System reduciren, nämlich auf die Mischungen aus nur zwei Grundfarben. Man nennt solche Augen farbenblind, weil sie Farben verwechseln, die den gewöhnlichen Augen sehr verschieden aussehen. Andere Farben dagegen unterscheiden sie, und zwar ebenso bestimmt, und wie es scheint, sogar noch etwas feiner als normale Augen. Gewöhnlich sind sie rothblind; das heisst in ihrem Farbensystem fehlt das Roth und alle Unterschiede, die zwischen verschiedenen Farben durch die Einmischung des Roth hervorgebracht werden. Alle Farbenunterschiede sind ihnen Unterschiede von Blau und Grün, oder wie sie es nennen, Gelb. Also scheint ihnen Scharlachroth, Fleischroth, Weiss und Grünblau identisch zu sein, oder höchstens in der Helligkeit verschieden, ebenso Purpurroth, Violett und

Blau, ebenso Roth, Orange, Gelb, Grün. Die scharlachrothen Blüthen des Geranium haben ihnen genau denselben Farbenton, wie die Blätter derselben Pflanze; sie können die rothen und grünen Signallaternen der Eisenbahnen nicht unterscheiden. Das rothe Ende des Spectrum sehen sie nicht, sehr gesättigtes Scharlachroth erscheint ihnen fast schwarz, so dass sich zum Beispiel ein rothblinder schottischer Geistlicher verleiten liess, scharlachrothes Tuch zum Talare auszusuchen, weil er es für schwarz hielt.

Ja wir stossen auch in diesem Gebiete wieder auf sonderbare Ungleichheiten des Feldes der Netzhaut. Erstens ist jeder Mensch am äussersten Rande seines Gesichtsfeldes rothblind. Eine Geraniumblüthe, die man am Rande des Gesichtsfeldes hin und her bewegt, erkennt man als beweglichen Gegenstand, aber man erkennt nicht ihre Farbe, und vor einer Blättermasse derselben Pflanze hin und her bewegt, unterscheidet sie sich im Ansehen nicht von dem Grün der Blätter. Ueberhaupt erscheint alles Roth in indirectem Sehen viel dunkler. Am breitesten ist dieser rothblinde Theil an der Nasenseite des Gesichtsfeldes, und nach neuen Untersuchungen von Herrn Woinow giebt es am äussersten Rande des sichtbaren Feldes sogar eine schmale Zone, in der aller Farbenunterschied fehlt, und nur die Unterschiede der Helligkeit bestehen bleiben. In dieser äussersten Zone sieht alles weiss, grau oder schwarz aus; wahrscheinlich sind es die grünempfindenden Fasern allein, die hier übrig sind.

Zweitens ist die Mitte der Netzhaut, wie ich schon erwähnte, rings um die Centralgrube gelb gefärbt, dadurch wird alles Blau gerade in der Mitte des Gesichtsfeldes etwas dunkler. Das fällt namentlich bei Mischungen von Roth und Blaugrün auf, die, direct betrachtet, weiss erscheinen, aber schon in geringer Entfernung von der Mitte des Gesichtsfeldes überwiegendes Blau zeigen, und umgekehrt, wenn sie hier weiss erscheinen, direct betrachtet, roth sind.

Auch diese Ungleichheiten des Feldes gleichen sich durch die fortdauernde Bewegung des Blickes aus. Wir wissen bei den gewöhnlich vorkommenden weisslichen oder matten Farben der Aussenwelt schon, welche Eindrücke des indirecten Sehens anderen des directen Sehens entsprechen und beurtheilen deshalb die Körperfarben gleich nach dem Eindruck, den sie uns im directen Sehen machen würden. Es gehören wieder ungewöhnlichere Farbenmischungen oder besondere Richtung der

Aufmerksamkeit dazu, um uns den Unterschied erkennen zu lassen.

Die Farbentheorie mit allen diesen wunderlichen und verwickelten Verhältnissen war eine Nuss, an deren Eröffnung nicht nur unser grosser Dichter vergebens gearbeitet hat, sondern auch wir Physiker und Physiologen; ich schliesse mich hier ein, weil ich selbst mich lange Zeit damit abgemüht habe, ohne eigentlich dem Ziele näher zu kommen, bis ich endlich entdeckte, dass eine überraschend einfache Lösung des Räthsels schon im Anfange dieses Jahrhunderts gefunden und längst gedruckt zu lesen war. Sie war gefunden und gegeben von demselben Thomas Young, der auch dem Räthsel der ägyptischen Hieroglyphen gegenüber die erste richtige Spur zur Entzifferung fand. Er war einer der scharfsinnigsten Männer, die je gelebt haben, hatte aber das Unglück, seinen Zeitgenossen an Scharfsinn zu weit überlegen zu sein. Sie staunten ihn an, aber konnten dem kühnen Fluge seiner Combinationen nicht überall folgen, und so blieb eine Fülle seiner wichtigsten Gedanken in den grossen Folianten der königlichen Gesellschaft von London vergraben und vergessen, bis eine spätere Generation in langsamem Fortschritte seine Entdeckungen wieder entdeckte, und sich von der Richtigkeit und Beweiskraft seiner Schlüsse überzeugte.

Indem ich hier die von ihm hingestellte Farbentheorie auseinander setze, bitte ich den Leser noch zu bemerken, dass die später zu ziehenden Schlüsse über das Wesen der Gesichtsempfindungen von dem Hypothetischen in dieser Theorie ganz unabhängig sind.

Thomas Young setzt voraus, dass es im Auge dreierlei Arten von Nervenfasern gebe, wovon die einen, wenn sie in irgend einer Weise gereizt werden, die Empfindung des Roth hervorbringen, die zweiten die Empfindung des Grün, die dritten die des Violett. Er nimmt weiter an, dass die ersteren durch die leuchtenden Aetherschwingungen von grösserer Wellenlänge verhältnissmässig am stärksten erregt werden, die grünempfindenden durch die Wellen mittlerer Länge, die violettempfindenden durch das Licht kleinster Wellenlänge. So würde am roth- Ende des Spectrum die Erregung der rothempfindenden Str überwiegen, und eben daher dieser Theil uns roth erscheweiterhin würde sich eine merkliche Erregung der grüne denden Nerven hinzugesellen, und dadurch die gemischte dung des Gelb entstehen. In der Mitte des Spectrum wi

Erregung der grünempfindenden Nerven die der beiden anderen stark überwiegen, daher die Empfindung des Grün herrschen. Wo diese sich dagegen mit der des Violett mischt, entsteht Blau; am brechbarsten Ende des Spectrum überwiegt die Empfindung des Violett [1]).

Man sieht, dass diese Annahme nichts weiter ist, als eine noch weitere Specialisirung des Gesetzes von den specifischen Sinnesenergien. Ebenso gut, wie die Verschiedenheit der Licht- und Wärmeempfindung nachweisbar nur darauf beruht, ob die Sonnenstrahlen die Ausbreitung der Sehnerven oder der Tastnerven treffen, so wird in der Young'schen Hypothese vorausgesetzt, dass die Verschiedenheit der Farbenempfindung nur darauf beruht, ob die eine oder andere Nervenart relativ stärker afficirt wird. Gleichmässige Erregung aller drei giebt die Empfindung von Weiss.

Bei rothblinden Augen würden die Erscheinungen darauf zurückzuführen sein, dass die eine Art der Nerven, die rothempfindenden, nicht erregungsfähig ist. Am Rande der Netzhaut jedes normalen Auges fehlen wahrscheinlich die rothempfindenden Fasern oder sind wenigstens sehr spärlich vorhanden.

Nun fehlt bei Menschen und Säugethieren allerdings noch jedes anatomische Substrat, welches man mit dieser Farbentheorie in Beziehung setzen könnte. Dagegen hat Max Schultze eine offenbar hierher gehörige Structur bei den Vögeln und Reptilien gefunden. In den Augen vieler dieser Thiere findet sich nämlich eine Anzahl von Stäbchen in der Stäbchenschicht der Netzhaut, die an ihrem vorderen, dem einfallenden Lichte zugekehrten Ende einen rothen Oeltropfen enthalten, andere Stäbchen enthalten einen gelben Tropfen, andere gar keinen. Nun ist es unzweifelhaft, dass rothes Licht zu den Stäbchen mit rothem Tropfen einen viel besseren Zugang finden wird, als Licht von anderer Farbe; gelbes und grünes Licht dagegen wird zu den Stäbchen mit gelben Tropfen relativ am besten zugelassen. Blaues Licht wird

---

[1]) Der Farbenton der drei Grundfarben lässt sich empirisch noch nicht ganz genau feststellen; den Eindruck der grössten Farbensättigung machen die drei oben genannten Farben des Spectrum. Ebenso hat Th. Young für die Grundfarbe des brechbareren Endes Violett gewählt, Maxwell hält Blau für wahrscheinlicher; eine sichere Entscheidung ist noch nicht zu geben. Nach Herrn J. J. Müller's Versuchen (Archiv für Ophthalmologie XV, 2, S. 208) ist Violett wahrscheinlicher. Die Fluorescenz der Netzhaut macht hier Schwierigkeiten.

von beiden ziemlich vollständig ausgeschlossen sein, dagegen wird es die farblosen Stäbchen um so stärker afficiren. So dürfen wir mit grosser Wahrscheinlichkeit in diesen Stäbchen die Endorgane der rothempfindenden, gelbempfindenden und blauempfindenden Nerven suchen.

Eine ganz ähnliche Hypothese habe ich später äusserst geeignet und fruchtbar gefunden, um ebenso räthselhafte Eigenthümlichkeiten, welche sich bei der Wahrnehmung musikalischer Töne zeigen, höchst einfach zu erklären. Nämlich in der sogenannten Schnecke des Ohres liegen die Enden der Nervenfasern neben einander regelmässig ausgebreitet und sind mit kleinen elastischen Anhängseln, den Corti'schen Bögen, versehen, welche regelmässig wie Tasten und Hämmer eines Klaviers neben einander geordnet sind. Meine Annahme ist nun, dass hier jede einzelne Nervenfaser zur Wahrnehmung einer bestimmten Tonhöhe befähigt sei, für die ihr elastisches Anhängsel am stärksten in Mitschwingungen komme. Es ist hier nicht der Raum, um auf die besonderen Charaktere der Tonempfindungen einzugehen, welche mich zur Aufstellung einer solchen Hypothese veranlassten, deren Analogie mit Young's Farbentheorie in die Augen springt, und die die Entstehung der Obertöne, der Schwebungen, die Wahrnehmung der Klangfarben, den Unterschied von Consonanz und Dissonanz, die Bildung der musikalischen Scala u. s. w. auf ein ebenso einfaches Princip zurückführt, wie das von Young's Farbentheorie ist. Im Ohre aber war eine viel deutlicher ausgebildete anatomische Grundlage für eine solche Hypothese nachweisbar; und seitdem ist es auch, zwar nicht am Menschen und Wirbelthieren, wo das Gehörlabyrinth allzu versteckt liegt, wohl aber an Meerescrustaceen gelungen, ein solches Verhalten direct zu erweisen. Diese haben nämlich äusserliche Anhängsel an ihrem Gehörorgan, die man am unverletzten Thiere beobachten kann, gegliederte Härchen, zu denen Nervenfasern des Hörnerven hintreten, und hier überzeugte sich Herr Hensen in Kiel, dass in der That einzelne Härchen durch einzelne Töne in Schwingung versetzt wurden, andere durch andere.

Noch einen Anstoss gegen Young's Farbentheorie müss[en] wir beseitigen. Ich erwähnte oben, dass bei der räumliche[n] stellung des Farbensystems in der Farbentafel die Umf[ang] dieser Tafel, welche die gesättigtesten Farben, nämlich [das] Spectrum, enthält, sich einem Dreieck annähere. Unsere [Ansichten] über die Theorie der drei Grundfarben beruhen aber dar[auf]

das ganze System der Farben von einem geradlinigen Dreieck umfasst werde, denn nur dann sind alle Farben aus den drei in den Ecken des Dreiecks stehenden Grundfarben zu mischen. Aber wohlgemerkt! die Farbentafel umfasst sämmtliche in der Aussenwelt vorkommende Farben, und in der genannten Theorie handelt es sich um die Zusammensetzung von Empfindungen. Wir brauchen nur anzunehmen, dass die objectiven farbigen Lichter noch nicht die vollkommen reinen Farbenempfindungen hervorrufen, dass also rothes einfaches Licht, auch wenn es vollständig von allem weissen Lichte gereinigt ist, doch nicht allein die rothempfindenden Fasern errege, sondern, wenn auch schwach, ebenfalls die grünempfindenden und vielleicht noch schwächer die violettempfindenden. Dann wäre die Empfindung, welche reinstes rothes Licht im Auge hervorruft, noch nicht die reinste Rothempfindung; die letztere müsste ein noch gesättigteres Roth darstellen, als wir an irgend einer Farbe der Aussenwelt anschauen können.

Diese Folgerung lässt sich bewahrheiten; eine solche gesättigtere Rothempfindung lässt sich erzeugen. Diese Thatsache ist nicht nur als Beseitigung eines möglichen Einwandes gegen Young's Theorie, sie ist auch für die Bedeutung der Farbenempfindungen überhaupt, wie man leicht einsieht, von grösster Wichtigkeit. Um das Verfahren zu beschreiben, muss ich auf eine neue Reihe von Erscheinungen eingehen.

Jeder Nervenapparat ermüdet, wenn er in Thätigkeit erhalten wird, um so mehr, je lebhafter diese ist, und je länger sie dauert. Unablässig ist dann das hellrothe, durch die Arterien strömende Blut thätig, um das verbrauchte Material durch neues zu ersetzen und die durch die Thätigkeit erzeugten Veränderungen, d. h. die Ermüdung, zu beseitigen. Dasselbe geschieht im Auge. Wird die ganze Netzhaut in ganzer Ausdehnung ermüdet, — zum Beispiel dadurch, dass wir eine Weile im Freien unter grellem Sonnenschein verweilen, — so ist sie für schwächeres Licht überhaupt unempfindlich geworden. Treten wir alsdann unmittelbar in einen dunklen, schwach beleuchteten Raum, so sehen wir anfangs gar nichts; wir sind durch die vorausgegangene Helligkeit geblendet, wie wir es nennen. Nach einiger Zeit erholt sich das Auge, und wir können schliesslich bei derselben schwachen Beleuchtung, die uns anfangs absolutes Dunkel schien, sehen, sogar lesen.

So äussert sich die allgemeine Ermüdung der Netzhaut; es ist aber auch eine Ermüdung einzelner Theile der Netzhaut mög-

lich, wenn nur eine einzelne Stelle derselben längere Zeit hindurch von starkem Lichte getroffen worden ist. Betrachten wir längere Zeit irgend einen hellen Gegenstand, der von dunklem Grunde umgeben ist, indem wir unverrückt einen Punkt mit dem Blicke fixiren, — das ist nämlich nöthig, damit das helle Bild auf der Netzhaut stille liege, und einen scharf begrenzten Theil ihrer Fläche ermüde, — und blicken wir nachher auf einen gleichmässigen dunkelgrauen Grund, so sehen wir auf diesem ein Nachbild des vorher gesehenen Objectes in denselben Umrissen gezeichnet, aber in der Beleuchtung entgegengesetzt, das Dunkle hell, das Helle dunkel abgebildet, ähnlich den ersten negativen Bildern beim Photographiren. Durch sorgfältiges Fixiren kann man sehr fein gezeichnete Nachbilder entwickeln, in denen man unter Umständen sogar noch Buchstaben lesen kann. Hier entsteht das Nachbild durch locale Ermüdung. Die Theile der Netzhaut, die vorher hell gesehen hatten, empfinden das Licht des grauen Grundes nun schwächer als ihre nicht ermüdeten Nachbarn; und so weit also früher die Netzhaut von Licht getroffen war, so weit erscheint jetzt ein dunkler Fleck auf dem in Wirklichkeit gleichmässigen Grunde.

Ich bemerke dabei, dass gut beleuchtete weisse Papierblätter hinreichend helle Objecte zur Entwickelung des Nachbildes sind; blickt man nach sehr viel helleren Objecten, Flammen oder gar der Sonne, so mischt sich im Anfang noch die nicht sogleich verschwindende Erregung, welche ein positives Nachbild erzeugt, mit der Wirkung der Ermüdung, dem negativen Nachbilde; ausserdem wirken die verschiedenen Farben des weissen Lichts verschieden lange und verschieden stark. Dadurch werden die Nachbilder farbig, die Erscheinungen überhaupt viel verwickelter.

Mittelst der Nachbilder überzeugt man sich leicht, dass der Eindruck einer lichten Fläche schon von den ersten Secunden an abzunehmen anfängt, nach einer Minute schon meist auf die Hälfte oder ein Viertel seiner Intensität gesunken ist. Die einfachste Form des Versuches für diesen Zweck ist, dass man mit einem schwarzen Papier ein weisses Blatt halb zudeckt, irgend ein Pünktchen des weissen Blatts nahe am Rande des schwarzen fixirt, und nach 30 bis 60 Secunden das schwarze Blatt schnell fortzieht, ohne den Blick zu verwenden. Dann tritt plötzlich unter dem Schwarz der Eindruck des Weiss in seiner ersten glänzenden Frische hervor, und man erkennt nun, in wie hohem Grade der ältere Eindruck abgestumpft und geschwächt ist, trotz

der kurzen Zeit, während der das Weiss gewirkt hat. Und doch, was wohl zu bemerken ist, hat der Beschauer von dieser so starken Abnahme der scheinbaren Helligkeit nichts gemerkt, während er das Weiss betrachtete.

Endlich ist noch in anderer Beziehung eine partielle Ermüdung möglich, nämlich eine Ermüdung für einzelne Farben, wenn man entweder die ganze Netzhaut oder eine einzelne Stelle derselben während einiger Zeit (d. h. einer halben bis fünf Minuten) der Beleuchtung durch eine und dieselbe Farbe aussetzt. Nach Young's Theorie werden dadurch natürlich nur eine oder zwei Arten der lichtempfindenden Nerven ermüdet, nämlich die, welche die betreffende Farbe stark empfinden. Die anderen nicht erregten Nerven bleiben unermüdet. Der Erfolg ist, dass, wenn man zum Beispiel das Nachbild von Roth auf grauem Grunde betrachtet, das gleichmässig gemischte Licht dieses Grundes in der für Roth ermüdeten Netzhautstelle nur noch die Empfindungen des Grün und Violett stark hervorrufen kann. Die durch Roth ermüdete Stelle ist vorübergehend gleichsam rothblind geworden. Ihr Nachbild erscheint also blaugrün, complementär gefärbt zum Roth.

Hier bietet sich uns nun das Mittel dar, um die reinen gesättigten Urempfindungen der Farben wirklich in unserer Netzhaut hervorzurufen. Wollen wir zum Beispiel das reine Roth sehen, so ermüden wir einen Theil unserer Netzhaut durch das Blaugrün des Spectrum, welches Complementärfarbe des Roth ist. Wir machen dadurch diesen Theil unserer Netzhaut gleichzeitig grünblind und violettblind. Nun entwerfen wir das Nachbild auf das Roth eines möglichst gereinigten prismatischen Spectrum. Dasselbe erscheint alsdann in brennend gesättigtem Roth, und das Roth des Spectrum in seiner Umgebung, das reinste Roth, das die Aussenwelt aufzuweisen hat, erscheint der unermüdeten Netzhaut jetzt weniger gesättigt, als das Roth im Netzhautbilde, und wie von einem weisslichen Nebel übergossen.

Es möge genügen an den vorgebrachten Thatsachen; ich möchte nicht weitere Einzelheiten häufen, wobei weitläufige Beschreibungen vieler einzelner Versuche doch nicht zu umgehen wären.

Ist es nun diesen Thatsachen gegenüber noch möglich die uns freilich von Natur einwohnende Voraussetzung festzuhalten, dass die Qualität unserer Empfindungen, speciell der Gesichtsempfindungen, ein treues Abbild sei von entsprechenden Qualitäten

der Aussendinge? Offenbar nicht. Die Hauptentscheidung ist schon gegeben durch das von Johannes Müller aus den Thatsachen hergeleitete Gesetz von den specifischen Sinnesenergien. Ob die Sonnenstrahlen uns als Farbe oder als Wärme erscheinen, hängt gar nicht ab von ihrer eigenen inneren Beschaffenheit, sondern davon, ob sie Sehnervenfasern oder Hautnervenfasern erregen. Ein Druck auf den Augapfel, ein schwacher elektrischer Strom durch denselben, ein Narcoticum, im Blute verbreitet, können ebenso gut als Licht empfunden werden, wie die Sonnenstrahlen. Der eingreifendste Unterschied, den die verschiedenen Empfindungen darbieten, nämlich der Unterschied zwischen Gesichts-, Gehörs-, Geschmacks-, Geruchs- oder Tastempfindungen, dieser so tief einschneidende Unterschied, welcher macht, dass die Farben- und Tonempfindungen gar nicht einmal eine Beziehung der Aehnlichkeit oder Unähnlichkeit mit einander haben, hängt, wie wir sehen, nicht von der Natur des äusseren Objectes, sondern nur von den centralen Verbindungen des getroffenen Nerven ab. Daneben erscheint die Frage, ob innerhalb des Qualitätenkreises jedes einzelnen Sinnes noch eine Uebereinstimmung zwischen Objectivem und Subjectivem zu entdecken sei, als eine untergeordnete. In welcher Farbe Aetherwellenzüge von uns gesehen werden, wenn sie den Sehnerven in Erregung versetzen, das hängt allerdings von den Werthen ihrer Wellenlängen ab. Das System der natürlich sichtbaren Farben lässt uns noch eine Reihe von Unterschieden der Lichtmischungen verschiedener Art erkennen. Aber die Zahl dieser Verschiedenheiten ist ausserordentlich reducirt, nämlich von einer unendlich grossen Zahl auf drei. Da die wichtigste Fähigkeit des Auges in seiner feinen Raumunterscheidung besteht, und es für diesen Zweck viel feiner, als das Ohr, organisirt ist, so können wir uns wohl daran genügen lassen, dass das Auge überhaupt noch einige, wenn auch verhältnissmässig wenige qualitative Unterschiede des Lichtes wahrnimmt. Dem Ohre, welches in letzterer Beziehung ausserordentlich viel reicher ausgestattet ist, geht dafür die Raumunterscheidung fast ganz ab. Aber erstaunen müssen wir wohl — so lange wir nämlich auf dem Standpunkte des natürlichen, seinen Sinn unbedingt vertrauenden Menschen stehen bleiben —, dass v die Grenzen, innerhalb deren das Spectrum unser Auge a noch die Farbenunterschiede, welche in der Empfindung a einfachter Ausdruck der objectiven Unterschiede der Lichtarte stehen geblieben sind, irgend eine andere nachweisbare Bedeutu

haben, als die für das Sehen allein. Gleich aussehendes Licht kann in allen anderen bekannten physikalischen und chemischen Wirkungen vollkommen verschieden sein.

Endlich finden wir, dass die reinen einfachen Elemente unserer Farbenempfindung, die Empfindungen der reinen Grundfarben, im natürlichen unermüdeten Zustande des Auges ohne künstliche Vorbereitung desselben durch gar keine Art äusseren Lichtes hervorgerufen werden können, dass sie nur als subjective Erscheinungen überhaupt bestehen.

Von der Uebereinstimmung zwischen der Qualität des äusseren Lichtes und der Qualität der Empfindung bleibt also nur eines stehen, was zunächst dürftig genug erscheinen mag, was aber zu einer zahllosen Menge der nützlichsten Anwendungen vollkommen genügt: „Gleiches Licht erregt unter gleichen Umständen die gleiche Farbenempfindung. Licht, welches unter gleichen Umständen ungleiche Farbenempfindung erregt, ist ungleich."

Wenn zwei Verhältnisse sich einander in dieser Weise entsprechen, so ist das eine ein Zeichen für das andere. Dass man den Begriff des Zeichens und des Bildes bisher in der Lehre von den Wahrnehmungen nicht sorgfältig genug getrennt hat, scheint mir der Grund unzähliger Irrungen und falscher Theorien gewesen zu sein.

In einem Bilde muss die Abbildung dem Abgebildeten gleichartig sein; nur so weit sie gleichartig ist, ist sie Bild. Eine Statue ist Bild eines Menschen, insofern sie dessen Körperform durch ihre eigene Körperform nachahmt. Auch wenn sie in reducirtem Maassstabe ausgeführt ist, wird immer Raumgrösse durch Raumgrösse dargestellt.

Ein Gemälde ist Bild des Originals, theils weil es die Farben des letzteren durch ähnliche Farben, theils weil es einen Theil der Raumverhältnisse desselben, nämlich die der perspectivischen Projection, durch entsprechende Raumverhältnisse nachahmt.

Die Nervenerregungen in unserem Hirn und die Vorstellungen in unserem Bewusstsein können Bilder der Vorgänge in der Aussenwelt sein, insofern erstere durch ihre Zeitfolge die Zeitfolge der letzteren nachahmen, insofern sie Gleichheit der Objecte durch Gleichheit der Zeichen, und daher auch gesetzliche Ordnung durch gesetzliche Ordnung darstellen.

Dies genügt offenbar für die Aufgaben unseres Verstandes, der aus dem bunten Wechsel der Welt das Gleichbleibende heraus-

zufinden und als Begriff oder Gesetz zusammenzufassen hat. Dass es auch genügt für alle praktischen Zwecke, wird die dritte Abtheilung unseres Berichtes lehren.

Aber es ist nicht zu verkennen, dass nicht nur ungebildete Personen, die ihren Sinnen blind zu vertrauen gewöhnt sind, sondern selbst Gebildete, welche wissen, dass Sinnestäuschungen vorkommen, an einem so völligen Mangel einer näheren Uebereinstimmung zwischen den Qualitäten der Empfindung und denen der Objecte Anstoss zu nehmen geneigt sind. Haben ja doch selbst die Physiker lange gezögert und alle möglichen Einwendungen gemacht und erschöpft, ehe sie die Identität der Licht- und Wärmestrahlen zugaben, deren wesentliche Verschiedenheit sich in der Empfindung von Licht und Wärme zu offenbaren schien. Ist doch selbst Goethe, wie ich an einem anderen Orte zu zeigen mich bemüht habe, in den Widerspruch gegen Newton's Farbenlehre wesentlich deshalb hineingetrieben worden, weil er sich nicht denken konnte, dass das Weiss, in der Empfindung als die reinste Darstellung des hellsten Lichtes erscheinend, aus dem dunkleren Farbigen zusammengesetzt sei. Jene von Newton gefundene Thatsache war der erste Keim der neueren Lehre von den Sinnesenergien; auch sind bei seinem Zeitgenossen John Locke die wesentlichen Sätze über die Bedeutung der sinnlich wahrnehmbaren Qualitäten vollkommen richtig hingestellt. So deutlich man aber auch herausfühlt, dass hier für eine grosse Anzahl von Menschen der Stein des Anstosses liegt, so finde ich doch die gegnerische Meinung nirgends klar formulirt oder so deutlich ausgesprochen, dass sich das Irrige in derselben bestimmt greifen liesse. Der Grund scheint mir darin zu liegen, dass sich noch tiefere begriffliche Gegensätze dahinter verstecken.

Man muss sich nur nicht verleiten lassen, die Begriffe von Erscheinung und Schein zu verwechseln. Die Körperfarben sind die Erscheinung gewisser objectiver Unterschiede in der Beschaffenheit der Körper; sie sind also auch der naturwissenschaftlichen Ansicht nach kein leerer Schein, wenn auch die Art, wie sie erscheinen, vorzugsweise von der Beschaffenheit unseres Nervenapparates abhängt. Ein täuschender Schein tritt nur da ein, wo die normale Erscheinungsweise eines Objectes mit der eines anderen vertauscht wird. Dies aber tritt beim Farbensehen keineswegs ein; es giebt keine andere Erscheinungsweise derselben, die wir der im Auge gegenüber als die normale bezeichnen könnten.

Die Hauptschwierigkeit liegt hier im Begriffe der Eigenschaft, wie mir scheint. Aller Anstoss verschwindet, sobald man sich klar macht, dass überhaupt jede Eigenschaft oder Qualität eines Dinges in Wirklichkeit nichts Anderes ist, als die Fähigkeit desselben, auf andere Dinge gewisse Wirkungen auszuüben. Die Wirkung geschieht entweder zwischen den gleichartigen Theilchen desselben Körpers, wovon die Verschiedenheiten des Aggregatzustandes abhängen, oder, wie die chemischen Reactionen, von einem auf den anderen Körper, oder sie geschieht auf unsere Sinnesorgane und äussert sich dann durch Empfindungen, wie die, mit denen wir es hier zu thun haben. Eine solche Wirkung nennen wir Eigenschaft, wenn wir das Reagens, an dem sie sich äussert, als selbstverständlich im Sinne behalten, ohne es zu nennen. So sprechen wir von der Löslichkeit einer Substanz, das ist ihr Verhalten gegen Wasser; wir sprechen von ihrer Schwere, das ist ihre Anziehung gegen die Erde; und ebenso nennen wir sie mit demselben Rechte blau, indem dabei als selbstverständlich vorausgesetzt wird, dass es sich nur darum handelt, ihre Wirkung auf ein normales Auge zu bezeichnen.

Wenn aber, was wir Eigenschaft nennen, immer eine Beziehung zwischen zwei Dingen betrifft, so kann eine solche Wirkung natürlich nie allein von der Natur des einen Wirkenden abhängen, sondern sie besteht überhaupt nur in Beziehung auf und hängt ab von der Natur eines zweiten, auf welches gewirkt wird. Es hat also gar keinen reellen Sinn, von Eigenschaften des Lichts reden zu wollen, die ihm an und für sich zukämen, unabhängig von allen anderen Objecten, und die in der Empfindung des Auges wieder dargestellt werden sollten. Der Begriff solcher Eigenschaften ist ein Widerspruch in sich, es kann solche überhaupt gar nicht geben; und es kann deshalb auch nicht die Uebereinstimmung der Farbenempfindungen mit solchen Qualitäten des Lichts verlangt werden.

Natürlich haben sich diese Ueberlegungen schon längst denkenden Köpfen aufgedrängt; man findet sie bei Locke und Herbart deutlich ausgesprochen, sie sind durchaus im Sinne von Kant. Sie erforderten aber früher vielleicht eine grosse Abstractionskraft, um verstanden und eingesehen zu werden, während sie jetzt durch die Thatsachen, die wir dargelegt haben, auf das Anschaulichste illustrirt werden.

Nach dieser Abschweifung in die Welt des Abstracten kehren wir noch einmal zur bunten Pracht der Farben zurück

und untersuchen sie in ihrer Eigenschaft als sinnliche Zeichen gewisser äusserer Qualitäten, sei es des Lichts, sei es der Körper, die es zurückwerfen. Die wesentliche Forderung an ein gutes Zeichen ist seine Constanz, d. h. dass das gleiche Object immer das gleiche Zeichen mit sich führt. Nun haben wir schon gesehen, dass auch in dieser Beziehung die Farbenempfindungen Einiges zu wünschen übrig lassen. Sie sind nicht ganz gleichmässig im Felde der Netzhaut; aber hier hilft die ewige Bewegung unseres Blickes in derselben Weise über die Klippe des Anstosses hinweg, wie sie es betreffs der ungleichmässigen Schärfe des Netzhautbildes thut. Durch diese besondere Art der Beobachtung gleichen wir auch diesen Fehler des Organs aus.

Dann haben wir gesehen, dass durch Ermüdung des Auges die Intensität der Erregung schnell sehr bedeutende Abänderungen erleiden kann. Auch hier hilft die fortdauernde Bewegung des Blickes dazu, dass die Ermüdung in der Regel über das ganze Feld der Netzhaut die gleiche ist, und dass sich abgegrenzte Nachbilder selten bilden können; höchstens einmal von sehr hellen Objecten, von der Sonnenscheibe, oder hellen Flammen.

Bei gleichmässiger Ermüdung der ganzen Netzhaut bleibt aber wenigstens das gegenseitige Verhältniss der Helligkeit und Farbe der verschiedenen vor uns befindlichen Gegenstände nahezu unverändert, und die Ermüdung wirkt nur so, als würde allmälig die Beleuchtung schwächer.

Dies führt uns nun auf die Unterschiede unserer Gesichtsbilder, die von der verschiedenen Beleuchtung vor uns liegender Objecte abhängen.

Hier treffen wir wieder auf lehrreiche Thatsachen. Wir erblicken die Objecte der Aussenwelt unter Beleuchtung der verschiedensten Helligkeit, vom grellsten Sonnenschein bis zum Mondschein abgestuft, — das Sonnenlicht ist 150000 Mal heller als das Licht des Vollmonds. Auch die Farbe der Beleuchtung kann sich merklich ändern; sei es, dass wir künstliche Beleuchtung anwenden durch Flammen, die immer mehr oder weniger rothgelbes Licht geben; sei es, dass wir uns unter dem grünlichen Schatten eines Laubdaches oder in einem Zimmer mit stark gefärbten Tapeten und Fenstervorhängen befinden. Mit der Helligkeit und der Farbe der Beleuchtung ändert sich natürlich auch Helligkeit und Farbe der Lichtmenge, welche die beleuchteten Körper in unser Auge senden. Alle Verschiedenheit der Körperfarbe beruht nämlich

darauf, dass die verschiedenen Körper verschieden grosse Antheile der verschiedenen einfachen Strahlungen der Sonne theils zurückwerfen, theils verschlucken. Zinnober wirft die Strahlen grosser Wellenlänge zurück, ohne sie merklich zu schwächen, von allen übrigen Strahlen dagegen wirft er sehr wenig zurück. Daher erscheint er in der Farbe jener Strahlen, die er allein zurückwirft und die er in das Auge sendet, roth. Beleuchten wir Zinnober mit andersfarbigem Licht, welches kein Roth enthält, so erscheint er fast schwarz.

Somit ergiebt sich leicht, und wird ja auch durch die tägliche Erfahrung in hundertfältigen Variationen bestätigt, dass sich die scheinbare Farbe und Helligkeit der beleuchteten Körper mit der Farbe und Helligkeit der Beleuchtung ändert. Es ist dies ein Hauptgegenstand des Studiums für die Maler; viele ihrer schönsten Effecte beruhen darauf.

Was uns aber beim Sehen hauptsächlich interessirt, ist das Erkennen und Wiedererkennen der uns umgebenden Körper; nur selten, höchstens aus ästhetischen oder physikalischen Rücksichten, wenden wir wohl einmal unsere Aufmerksamkeit der Beleuchtung zu. Was aber in der Farbe eines Körpers constant ist, das ist nicht die Helligkeit und Farbe des von ihm in unser Auge gesendeten Lichtes, sondern das Verhältniss zwischen den Intensitäten der verschiedenfarbigen einfachen Bestandtheile dieses Lichtes und den Intensitäten der entsprechenden Bestandtheile der Beleuchtung. Nur dieses Verhältniss ist der Ausdruck einer constanten Eigenschaft des Körpers.

Wenn man sich dies theoretisch überlegt, könnte die Aufgabe, die Farbe eines Körpers bei wechselnder Beleuchtung zu beurtheilen, als eine verzweifelt schwierige erscheinen. Sehen wir uns dagegen in der Praxis um, so finden wir bald, dass wir die Körperfarben mit der grössten Sicherheit und ohne uns nur zu besinnen unter den allerverschiedensten Umständen richtig zu beurtheilen wissen. Weisses Papier im Vollmondschein ist dunkler als schwarzer Sammt im Tageslicht; doch zögern wir nie, das Papier als weiss, den Sammt als schwarz anzuerkennen. Ja, es ist uns viel schwerer, zu erkennen, dass ein grauer, hell von der Sonne beschienener Körper Licht von genau derselben Farbe und vielleicht auch von derselben Helligkeit zurückwirft, wie ein beschatteter weisser, als zu erkennen, dass die Körperfarbe eines beschatteten weissen Papiers dieselbe ist, wie die eines daneben liegenden sonnenbeleuchteten derselben Art. Grau

erscheint uns durchaus specifisch verschieden von Weiss; als Körperfarbe ist es dies auch; denn ein Körper, der nur das halbe Licht zurückwirft, muss eine andere Oberflächenbeschaffenheit haben, als einer, der das ganze zurückwirft. Und doch kann der Netzhauteindruck von beleuchtetem Grau absolut identisch sein mit dem von beschattetem Weiss. Jeder Maler stellt beschattetes Weiss mit grauer Farbe dar; hat er es recht naturgetreu nachgeahmt, so erscheint der dargestellte Gegenstand dessen ungeachtet rein weiss. Will man sich von der Gleichheit der Lichtfarbe des Grau und Weiss sinnlich überzeugen, so kann man das nur, indem man etwa durch eine Brennlinse starkes Licht auf eine graue Kreisscheibe concentrirt, so dass die Grenzen der stärkeren Beleuchtung genau mit denen des grauen Kreises zusammenfallen, und das Vorhandensein einer künstlichen Beleuchtung im unmittelbaren sinnlichen Eindruck sich nirgend verräth. Dann sieht das Grau wirklich weiss aus.

Wir dürfen annehmen — diese Annahme wird durch gewisse Contrasterscheinungen gerechtfertigt —, dass die Beleuchtung des hellsten vorhandenen Weiss uns den Maassstab abgiebt für die Beurtheilung der daneben stehenden dunkleren Körper, da unter gewöhnlichen Verhältnissen bei geschwächter Beleuchtung oder vermehrter Ermüdung der Netzhaut die Lichtstärke aller Körperfarben in gleichem Maasse abzunehmen pflegt.

Dies letztere gilt bei den extremsten Graden der Beleuchtung zwar immer noch für die Intensität des objectiven Lichtes, aber nicht mehr für die Empfindung. Bei sehr greller Beleuchtung, die sich dem Blendenden nähert, verwischen sich die Helligkeitsunterschiede der helleren Flächen für die Empfindung mehr und mehr; bei sehr schwachem Lichte werden dafür die Helligkeitsunterschiede der dunkelsten Objecte ununterscheidbar. So nähern sich die Körperfarben mittlerer Helligkeit im Sonnenschein mehr den hellsten, im Mondschein mehr den dunkelsten Objecten. Bei Gemälden, die ja in der Regel bei hellem Tageslicht betrachtet werden, und nicht entfernt so grosse Unterschiede der mittleren Helligkeit zulassen, wie der zwischen So[illegible] und Mondschein ist, benutzen die Maler diesen [illegible] um doch Beides darzustellen. Um Sonnenschein a[illegible] machen sie auch die mittelhellen Gegenstände fas[illegible] bei Mondschein machen sie auch diese fast ganz d[illegible] kommt dann noch ein anderer Unterschied, der [illegible] Empfindungsweise beruht. Bei gleichmässiger Ver[illegible]

Lichtstärke verschiedener Farben wächst nämlich der Eindruck des Roth und Gelb stärker als der des Blau. Wenn man ein rothes und blaues Papier aussucht, die bei mittlerem Tageslichte etwa gleich hell erscheinen, so erscheint in grellem Sonnenlichte das rothe, im Mond- oder Sternenschein das blaue viel heller. Spectralfarben zeigen dieselbe Erscheinung. Auch dies benutzen die Maler, indem sie den Sonnenlandschaften überwiegend gelben, dem Mondschein überwiegend blauen Ton geben.

In diesem Verfahren tritt besonders deutlich hervor, wie unabhängig wir uns in unserem Urtheil über die Körperfarben von der absoluten Beleuchtungsstärke gemacht haben. Ebenso befreien wir uns fast vollständig von dem Einflusse, den die Farbe der herrschenden Beleuchtung hat. Wir wissen freilich ungefähr, dass Kerzenlicht verglichen mit Tageslicht rothgelb ist; wie sehr sich aber seine Farbe von der des Sonnenlichtes unterscheidet, das erfahren wir erst anschaulich, wenn wir beide Beleuchtungen in gleicher Intensität dicht neben einander bringen, z. B. bei dem Versuche mit dem farbigen Schatten. Lassen wir von der einen Seite in ein dunkles Zimmer durch eine enge Oeffnung Licht eines grauen Wolkenhimmels, also geschwächtes weisses Tageslicht (oder auch Mondlicht), von der anderen Seite her Kerzenlicht auf ein horizontales weisses Papier fallen, und setzen wir einen Stab senkrecht auf das Papier, so wirft er zwei Schatten, einen, den das Tageslicht nicht beleuchtet, wohl aber das Kerzenlicht; dieser ist rothgelb, und sieht auch so aus. Den zweiten Schatten beleuchtet das Tageslicht, aber nicht das Kerzenlicht; dieser ist weiss, und erscheint blau durch Contrast. Dieses Blau und jenes Rothgelb der beiden Schatten sind die beiden Farben, die wir weiss nennen, das eine bei Tagesbeleuchtung, das andere bei Kerzenbeleuchtung. Neben einander gestellt erscheinen sie als zwei sehr verschiedene, ziemlich gesättigte Farben. Und doch zögern wir keinen Augenblick bei Kerzenbeleuchtung weisses Papier als weiss anzuerkennen, und es von goldgelbem zu unterscheiden.

Am merkwürdigsten in dieser Reihe von Erscheinungen ist, dass wir die Farbe einer durchscheinenden farbigen Decke von der Farbe der dahinter liegenden Objecte trennen, wie es bei einer ganzen Reihe interessanter Contrastphänomene geschieht. Ja, wenn wir durch einen grünen Schleier blicken, kann es dahin kommen, dass uns weisse Gegenstände, deren Licht doch mit

dem grünen des Schleiers gemischt, also jedenfalls grünlich ist, im Gegentheil röthlich erscheinen, indem sich das röthliche Nachbild des Grün an ihnen zeigt. So vollständig trennen wir das Licht, welches der Decke angehört, von den durch die Decke gesehenen Gegenständen [1]).

Man bezeichnet die Veränderungen der Farbe in den beiden letzten Versuchen als Contrasterscheinungen; meistens sind dies Täuschungen über die Körperfarbe von Objecten, Täuschungen welche auf undeutlich ausgeprägten Nachbildern beruhen. Dies giebt den sogenannten successiven Contrast, der beim Wandern des Blickes über farbige Objecte eintritt. Zum Theil beruhen die Contrasterscheinungen aber auch darauf, dass unsere Gewohnheit, die Körperfarbe nach den relativen Verhältnissen der Helligkeit und Farbe von verschiedenen gleichzeitig gesehenen Dingen zu beurtheilen, uns in die Irre führen kann, wenn die Verhältnisse von den gewöhnlichen abweichen, z. B. wenn zwei Beleuchtungen oder farbige durchsichtige Decken da sind, oder da zu sein scheinen, wo sie nicht sind; diese letzteren Fälle sind die des simultanen Contrastes. Bei dem Versuche mit den farbigen Schatten z. B. giebt uns der doppelt beleuchtete Grund, welcher das hellste unter den gleichzeitig gesehenen Objecten ist, einen falschen Maasstab für das Weiss. Mit ihm verglichen erscheint uns das wirkliche, aber weniger helle Weiss des einen Schattens blau. Ausserdem tritt bei diesen Contrasten noch der Umstand mitwirkend auf, dass deutlich wahrnehmbare Unterschiede in der Empfindung uns grösser erscheinen, als undeutlich wahrnehmbare. Deutlich wahrnehmbar sind aber die vor Augen liegenden Farbenunterschiede im Gegensatz zu den in der Erinnerung liegenden, ferner die Farbenunterschiede dicht benachbarter Stellen des Gesichtsfeldes im Gegensatz zu den entfernteren u. s. w. Alles dies hat seinen Einfluss. Es kommen hier ziemlich viele verschiedenartige Umstände in Betracht, deren Verfolgung in den einzelnen Fällen sehr interessantes Licht wirft auf die Motive, nach denen wir die Körperfarben beurtheilen, ein Kapitel, das wir freilich hier nicht weiter ausführen können. Dieses ist übrigens für die Theorie der Malerei von ebenso grossem Interesse wie für die Physiologie, da die Maler vielfältig eine gesteigerte Nachahmung

[1]) Eine ganze Reihe entsprechender Versuche finden sich beschrieben in meinem Handbuch der Physiologischen Optik S. 398 bis 400; 410 bis 411.

der natürlichen Contrasterscheinungen anwenden, um dem Zuschauer grössere Lichtunterschiede und Farbensättigung vorzuspiegeln, als sie eigentlich mit ihren Farben hervorbringen können.

Hiermit beenden wir die Lehre von den Gesichtsempfindungen. Dieser Abschnitt unserer Untersuchung hat also ergeben, dass die Qualitäten der Gesichtsempfindungen nur Zeichen sind für gewisse qualitative Unterschiede theils des Lichtes, theils der beleuchteten Körper, ohne aber eine genau entsprechende objective Bedeutung zu haben; dass sie sogar das einzige wesentliche Erforderniss eines Zeichensystems, nämlich die Constanz, nur mit sehr wesentlichen Einschränkungen und Mängeln besitzen. Daher wir ihnen oben nur soviel nachrühmen konnten, dass sie unter übrigens gleichen Umständen in gleicher Weise für die gleichen Objecte auftreten. Trotz alledem haben wir gefunden, dass wir mit diesem ziemlich inconstanten Zeichensystem den wesentlichen Theil der uns gestellten Aufgabe, nämlich die gleichen Körperfarben in constanter Weise überall wiederzuerkennen, gut und in Anbetracht der entgegenstehenden Schwierigkeiten sogar auffallend gut zu lösen im Stande sind. Aus diesem schwankenden System von Helligkeiten und Farben, schwankend nach der Beleuchtung, schwankend nach der veränderlichen Ermüdung des Organs, schwankend nach der getroffenen Netzhautstelle, wissen wir das Eine, was fest ist, die Körperfarbe, die einer unveränderlich bleibenden Qualität der Körperoberfläche entspricht, herauszulösen; nicht durch langes Besinnen, sondern mit augenblicklicher unwillkürlicher Evidenz.

Was wir in dem optischen Apparate und im Netzhautbilde an Ungenauigkeiten und Unvollkommenheiten gefunden haben, erscheint als durchaus unerheblich neben den Incongruenzen, denen wir hier im Gebiete der Empfindungen begegnen. Fast könnte man glauben, die Natur habe sich hier absichtlich in den kühnsten Widersprüchen gefallen; sie habe mit Entschiedenheit jeden Traum von einer prästabilirten Harmonie der äusseren und inneren Welt zerstören wollen.

Und wie sieht es mit der Lösung unserer Aufgabe aus, das Sehen zu erklären? Mancher könnte glauben, wir seien ihr ferner, als je zuvor; das Räthsel sei nur noch verwickelter, die Hoffnung es zu entziffern noch geringer geworden. Vielleicht fühlt er sich geneigt auf die Wissenschaft zu schmähen, die in

unfruchtbarer Kritik die schöne Sinnenwelt nur zu zerschlagen wisse; und er beschliesst, sich auf den gesunden Menschenverstand zu verlassen und seinen Sinnen mehr zu glauben, als dem Physiologen.

Uns fehlt aber noch der Theil der Untersuchung, welcher die Raumanschauungen zu behandeln hat. Sehen wir zu, ob sich hier das natürliche Vertrauen auf die Richtigkeit dessen, was die Sinne uns lehren, vor der Wissenschaft rechtfertigen wird.

III.

Die Gesichtswahrnehmungen.

Die Farben, mit deren Bedeutung wir uns im vorigen Abschnitte beschäftigt haben, sind ein Schmuck, den wir ungern entbehren würden; sie sind auch ein Mittel, um die Unterscheidung und die Wiedererkennung der Gesichtsobjecte zu erleichtern. Indessen tritt ihre Wichtigkeit bei Weitem hinter der schnellen und ausgedehnten Unterscheidung der Raumverhältnisse zurück, deren wir durch das Auge fähig sind. Kein anderer Sinn kann in dieser Beziehung mit dem Auge sich vergleichen. Der Tastsinn unterscheidet zwar auch Raumverhältnisse und hat vor dem Auge den Vorzug, dass er das Materielle, was er erreichen kann, zuverlässiger auffasst, weil er sogleich auch Widerstand, Masse und Gewicht prüft. Aber sein Bereich ist beschränkt, und die Unterscheidung kleiner Distanzen lange nicht so fein, wie die durch das Gesicht. Dennoch genügt der Tastsinn, wie die Erfahrungen an Blindgeborenen lehren, vollkommen, um fertige Raumanschauungen zu entwickeln. Er bedarf dazu nicht des Auges. Ja wir werden uns noch überzeugen können, dass wir die Raumanschauungen des Auges durch die des Tastsinnes, wo es angeht, fortdauernd controliren und corrigiren und dabei die Aussagen des letzteren immer als die entscheidenden betrachten. Beide Sinne, welche im Wesentlichen an derselben Aufgabe, aber mit äusserst verschiedener Begabung arbeiten, ergänzen sich gegenseitig in sehr glücklicher Weise. Während der Tastsinn ein zuverlässiger Gewährsmann, aber von eng begrenztem Gesichtskreise ist, dringt das Auge mit dem kühnsten Fluge der Phantasie wetteifernd in ungemessene Fernen vor.

Für die uns vorliegende Aufgabe ist diese Verbindung von grosser Wichtigkeit. Denn da wir es hier nur mit dem Gesichtssinn zu thun haben, und der Tastsinn zur vollständigen Hervorbringung der Raumanschauung genügt, so können wir zunächst die letztere in ihren allgemeinen Zügen als fertig gegeben voraussetzen, und uns darauf beschränken zu untersuchen, woher die Uebereinstimmung zwischen den Raumanschauungen des Gesichtssinnes und denen des Tastsinnes stammt. Die Frage, wie es bei den gegebenen sinnlichen Perceptionen überhaupt zur Raumanschauung kommen könne, wollen wir erst am Schlusse besprechen.

Zunächst zeigt es sich, wenn wir die allbekannten Thatsachen überschauen, dass die Vertheilung der Empfindungen auf örtlich getrennte Nervenapparate keineswegs nothwendig die Vorstellung local getrennter Ursachen dieser Empfindungen hervorruft. Wir können zum Beispiel Licht, Wärme, verschiedene Töne eines Musikinstrumentes, und vielleicht auch einen Geruch in einem Zimmer empfinden und erkennen, dass alle diese Agentien gleichzeitig und räumlich nicht getrennt in der Luft des Zimmers allgemein verbreitet vorhanden sind. Wir erhalten von einer Mischfarbe, die sich in unserer Netzhaut abbildet, drei verschiedene Elementarempfindungen, wahrscheinlich in verschiedenen Nerven, ohne sie zu trennen. Wir hören von einer angeschlagenen Saite, oder von einer menschlichen Stimme gleichzeitig verschiedene Töne, einen Grundton und eine Reihe harmonischer Obertöne, welche ebenfalls wahrscheinlich von verschiedenen Nerven empfunden werden, ohne dass wir sie örtlich trennen. Bei vielen Substanzen, die wir geniessen, schmecken wir verschieden mit den verschiedenen Stellen der Zunge und riechen gleichzeitig, während die Speise den Schlund passirt, deren flüchtige Bestandtheile, während doch diese verschiedenen, durch verschiedene Nervenapparate percipirten Empfindungen gewöhnlich ungetrennt in der einen Gesammtempfindung des Geschmackes der genossenen Substanz vereinigt bleiben.

Allerdings können wir bei einiger Aufmerksamkeit die Stellen unseres Körpers kennen lernen, durch welche diese Empfindungen eindringen; aber wenn diese auch verschieden sind, so folgt daraus nicht, dass wir das Object, das die Empfindung hervorruft, uns entsprechend räumlich getrennt denken müssten.

Im Bereiche des Sehens finden wir eine entsprechende Thatsache, nämlich die, dass wir mit zwei Augen dasselbe Object einfach sehen, trotz der Empfindung in zwei getrennten Nerven-

apparaten. Es ist dies, wie sich hier zeigt, ein einzelnes Beispiel eines viel allgemeineren Gesetzes.

Wenn wir also finden, dass auf der Netzhaut ein flächenhaft ausgebreitetes optisches Bild der Gegenstände des Gesichtsfeldes zu Stande kommt, nnd dass die verschiedenen Theile dieses Bildes verschiedene Nervenfasern erregen, so ist dies noch nicht ein genügender Grund dafür, dass wir diese Empfindungen auch auf räumlich getrennte Theile des Gesichtsfeldes beziehen. Es muss offenbar noch etwas Anderes hinzukommen, um die Anschauung der räumlichen Trennung dieser Eindrücke hervor zu bringen.

Dasselbe Problem gilt in gleicher Weise vom Tastsinn. Wenn zwei verschiedene Stellen der Haut gleichzeitig berührt werden, so werden zwei verschiedene empfindende Nervenfasern in Erregung gesetzt. Aber deren räumliche Trennung ist an sich, wie wir schliessen müssen, noch nicht der ausreichende Grund dafür, dass wir die beiden Berührungsstellen als verschiedene anerkennen, und uns zwei verschiedene berührende Objecte vorstellen. Ja beim Tastsinn kann das sogar nach Nebenumständen wechseln. Wenn wir mit beiden Zeigefingern den Tisch berühren, und unter jeder Fingerspitze ein Sandkorn fühlen, so bilden wir die Wahrnehmung, dass zwei Sandkörner da seien. Wenn wir aber die beiden Fingerspitzen aneinander gelegt und zwischen beiden ein Sandkorn eingeschlossen haben, so können wir dieselben Berührungsempfindungen in denselben beiden Nervenfasern haben, wie vorher, und doch bildet sich unter diesen Umständen die Vorstellung von nur einem Sandkorn. Es hat hier offenbar die gleichzeitige Wahrnehmung von der Stellung der Glieder Einfluss auf das Resultat unserer Anschauung, und es ist bekannt, dass unter Umständen, wo wir eine falsche oder unvollkommene Vorstellung von der Stellung der tastenden Finger haben, zum Beispiel wenn zwei Finger über einander gekreuzt werden, wir auch zwei berührte Kügelchen zu fühlen glauben, während nur eines zwischen den Fingern ist.

Was ist es nun, das noch hinzukommt zu der räumlichen Trennung der empfindenden Nerven, und in diesen Fällen die entsprechende räumliche Trennung in der Anschauung hervorbringt? In der Beantwortung dieser Frage treffen wir auf einen noch nicht beendeten Streit. Die eine Partei antwortet, dem Vorgange von Johannes Müller folgend, dass das räumlich ausgedehnte Sinnesorgan, Netzhaut oder Haut, sich selbst in dieser räumlichen Ausdehnung empfände, dass diese Anschauung angeboren sei, und

dass die von aussen her erregten Eindrücke nur an entsprechender Stelle in das räumlich ausgedehnte Anschauungsbild des Organes von sich selbst eingetragen würden. Wir wollen diese Ansicht als die nativistische Theorie der Raumanschauung bezeichnen. Sie schneidet im Wesentlichen das weitere Nachsuchen nach dem Ursprung der Raumanschauung ab, indem sie diese für etwas ursprünglich Gegebenes, Angeborenes, nicht weiter Erklärbares ausgiebt.

Die entgegenstehende Ansicht ist in allgemeinerer Form schon von den englischen Sensualisten, von Molineux, Locke, Jurine ausgesprochen worden. Ihre Anwendung auf die specielleren physiologischen Verhältnisse konnte erst in neuester Zeit beginnen, nachdem namentlich das Studium der Augenbewegungen genauer durchgeführt war. Die Erfindung des Stereoskops durch Wheatstone machte die Schwierigkeiten und Unzuträglichkeiten der nativistischen Theorie viel augenfälliger, als sie vorher waren, und drängte zu einer anderen Lösung, welche sich jener älteren wieder näher anschloss, und die wir als die empiristische Theorie vom Sehen bezeichnen wollen. Diese Theorie nimmt an, dass unsere Sinnesempfindungen uns überhaupt nichts weiter geben als Zeichen für die äusseren Dinge und Vorgänge, welche zu deuten wir durch Erfahrung und Uebung erst lernen müssen. Was namentlich die Wahrnehmung der örtlichen Unterschiede betrifft, so würde diese erst mit Hilfe von Bewegungen kennen zu lernen sein; im Gesichtsfelde namentlich mittelst der Augenbewegungen. Einen Unterschied zwischen den Empfindungen verschiedener Netzhautstellen, der von der örtlichen Verschiedenheit derselben herrührt, muss natürlich auch die empiristische Theorie anerkennen. Wenn ein solcher nicht vorhanden wäre, würde es überhaupt unmöglich sein, örtliche Unterschiede im Gesichtsfelde zu machen. Die Empfindung von Roth, welches die rechte Seite einer Netzhaut trifft, muss irgendwie unterschieden sein von der Empfindung desselben Roth, wenn es die linke Seite derselben Netzhaut trifft; und zwar muss dieser Unterschied beider Empfindungen ein anderer sein, als wenn zwei verschiedene Abstufungen des Roth nach einander dieselbe Netzhautstelle treffen. Diesen vorläufig seiner Art nach unbekannt bleibenden Unterschied zwischen den Empfindungen, welche dieselbe Farbe in verschiedenen Netzhautstellen erregt, nennen wir mit Lotze das Localzeichen der Empfindung. Ich halte es für verfrüht, irgend welche weiteren Hypothesen über die Art dieser Localzeichen aufzustellen. Nur

die Existenz derselben folgt zweifellos aus der Thatsache, dass wir locale Unterschiede im Gesichtsfelde unterscheiden.

Der Unterschied zwischen den einander gegenüberstehenden Ansichten ist also der, dass die empiristische Theorie die Localzeichen als irgend welche Zeichen betrachtet — gleichviel, welcher Art sie seien — und verlangt, dass die Bedeutung dieser Zeichen für die Erkenntniss der Aussenwelt gelernt werden könne und gelernt werde. Dabei ist es also auch nicht nöthig, irgend welche Art von Uebereinstimmung zwischen den Localzeichen und den ihnen entsprechenden äusseren Raumunterschieden vorauszusetzen. Die nativistische Theorie dagegen setzt voraus, dass die Localzeichen nichts anderes seien als unmittelbare Anschauungen der Raumunterschiede als solcher, sowohl ihrer Art, als ihrer Grösse nach. Der Leser wird hieran erkennen, dass der durchgreifende Gegensatz der verschiedenen philosophischen Systeme, welche bald eine prästabilirte Harmonie zwischen den Gesetzen des Denkens und Vorstellens mit denen der äusseren Welt voraussetzen, bald alle Uebereinstimmung der inneren und äusseren Welt aus der Erfahrung herzuleiten suchen, auch in das uns vorliegende Gebiet eingreift.

So lange wir uns nun auf die Betrachtung eines flächenhaften Feldes beschränken, dessen einzelne Theile keine oder wenigstens keine erkennbare Verschiedenheit ihrer Entfernung vom Auge darbieten, so lange wir also zum Beispiel nur den Himmel und die entfernten Theile der Landschaft betrachten, geben beide Theorien im Wesentlichen gleich guten Aufschluss über die Wahrnehmung der Raumverhältnisse eines solchen Feldes. Das flächenhafte Netzhautbild entspricht dann dem flächenhaften Anschauungsbilde, welches wir von den genannten Objecten gewinnen. Die Incongruenzen, welche zwischen beiden bestehen, sind nicht von so eingreifender Art, dass sie durch verhältnissmässig einfache Erklärungen oder Annahmen mit der nativistischen Theorie nicht zu vereinigen wären.

Die erste dieser Incongruenzen zeigt sich darin, dass das Netzhautbild auf den Kopf gestellt ist, das Obere nach unten, das Rechte nach links gekehrt; die Fig. 44, S. 280, lässt erkennen, wie durch die Kreuzung der Strahlen in der Pupille diese Lage der Bilder zu Stande kommt. Der Punkt *a* ist das Bild von *A*, *b* von *B*. Es ist dies ein alter Stein des Anstosses in der Theorie vom Sehen gewesen, zu dessen Beseitigung vielerlei Arten von Hypothesen ausgesonnen worden sind. Zuletzt sind zwei haupt-

sächlich stehen geblieben. Entweder man betrachtet überhaupt den Begriff von Oben und Unten in den Gesichtsanschauungen, wie es Johannes Müller that, als nur relativ, die Beziehung des Einen gegen das Andere betreffend, und setzt voraus, dass die Uebereinstimmung zwischen dem Oben des Gesichtssinns und dem des Tastsinns durch die Erfahrung gewonnen werde, indem man die tastenden Hände im Gesichtsfelde erscheinen sieht. Oder, da ja doch die Erregungen von den Netzhäuten nach dem Gehirn geleitet werden müssen, um dort wahrgenommen zu werden, könnte man auch mit Fick die zweite Annahme machen, dass im Gehirn Sehnervenfasern und Tastnervenfasern passend zusammengeordnet seien, um die Uebereinstimmung von Oben und Unten, von Rechts und Links herzustellen; eine Annahme, der freilich bis jetzt jede Spur eines bekannten anatomischen Substrats abgeht.

Die zweite Incongruenz für die nativistischen Theorien ist die, dass wir zwei Netzhautbilder haben, während wir doch einfach sehen. Dieser Schwierigkeit wurde von den Anhängern der genannten Theorien durch die Annahme begegnet, dass beide Netzhäute, wenn sie erregt werden, im Gehirn nur eine Empfindung auslösen; und zwar so, dass die Punkte beider Netzhäute paarweise zusammengehören und je zwei zusammengehörige (identische oder correspondirende) Punkte nur als einer empfunden werden. Eine anatomische Structur, die dieser Annahme vielleicht entsprechen könnte, ist in der That zu finden. Es kreuzen sich nämlich beide Sehnerven, ehe sie in das Gehirn eintreten, und verbinden sich hier mit einander. Pathologische Erfahrungen bei Gehirnkrankheiten lassen es als wahrscheinlich erscheinen, dass die Nervenfasern beider rechten Netzhauthälften nach der rechten Hirnhemisphäre, die der linken zur linken ihren Lauf nehmen, wobei also in der That correspondirende Fasern zusammengefasst werden. Wenn dies richtig ist, so ist doch jedenfalls anatomisch noch nicht erwiesen, dass correspondirende Fasern verschmelzen.

Für die empiristische Theorie liegen in den beiden berührten Punkten keine Schwierigkeiten, da es sich in ihr nur darum handelt, dass das angegebene sinnliche Zeichen, sei es einfach, sei es zusammengesetzt, erkannt werde als das Zeichen für das, was es bedeutet. Der ununterrichtete Mensch ist in seinen Gesichtswahrnehmungen so sicher wie möglich, ohne auch nur zu wissen, dass es zwei Netzhäute und darauf zwei umgekehrte Netzhautbilder, dass es Erregungen von Sehnervenfasern giebt, und

dass diese nach dem Gehirn geleitet werden. Ihn kümmert also auch die Verkehrtheit und die Doppeltheit der Netzhautbilder nicht. Er kennt die Eindrücke, die dieses oder jenes, so oder so gelegene Ding ihm durch sein Auge macht, und danach richtet er sich. Die Möglichkeit aber, die räumliche Bedeutung der unseren Gesichtsempfindungen anhaftenden Localzeichen kennen zu lernen, ist dadurch gegeben, dass wir einerseits die bewegten Theile unseres eigenen Körpers im Gesichtsfelde haben, und also lernen können, wenn wir durch den Tastsinn schon wissen, was räumliche Verhältnisse und was Bewegung sei, welche Aenderungen im Gesichtseindruck einer Bewegung der gesehenen Hand nach hierin oder dorthin entsprechen. Andererseits, wenn wir vor einem mit ruhenden Objecten gefüllten Gesichtsfelde die Augen und mit ihnen die Netzhaut bewegen, so verschiebt sich diese gegen das in seiner Lage fast unverändert bleibende Netzhautbild. Wir erfahren dadurch, welchen Eindruck das gleiche Object auf verschiedene Theile der Netzhaut macht. Ein unverändertes Netzhautbild, das bei der Drehung des Auges sich an der Netzhaut verschiebt, ist wie ein Zirkel, den wir auf einer Zeichnung hin und her bewegen, um dadurch zu erfahren, welche Abstände gleich, welche ungleich gross sind. Selbst wenn die Localzeichen der Empfindung ein beliebig und ohne alle systematische Ordnung durch einander gewürfeltes System von Zeichen wären (was ich aber keineswegs als wahrscheinlich voraussetze), würde es durch dieses Verfahren möglich sein zu ermitteln, welche Zeichen benachbarten Stellen angehören, und welche Paare von Zeichen gleichen Distanzen in verschiedenen Theilen des Gesichtsfeldes entsprechen.

Es ist mit dieser Annahme in Uebereinstimmung, wie die darauf bezüglichen Versuche von Fechner, Volkmann und mir selbst gelehrt haben, dass auch vom vollkommen ausgebildeten Auge des Erwachsenen nur solche Paare von Linien und Winkeln im Gesichtsfelde genau und richtig ihrer Grösse nach verglichen werden, welche mittelst der normalen Augenbewegungen unmittelbar nach einander auf derselben Linienstrecke oder demselben Winkel der Netzhaut abgebildet werden können.

Ferner lässt sich durch einen einfachen Versuch nachweisen, dass die Uebereinstimmung zwischen den Wahrnehmungen des Tastsinns und des Gesichtssinns auch beim Erwachsenen auf einer fortdauernden Vergleichung beider mittelst der Gesichtsbilder unserer Hände beruht. Wenn man nämlich eine Brille mit prismatischen Gläsern aufsetzt, deren ebene Grenzflächen nach rechts

hin convergiren, so erscheinen alle Gegenstände den Augen nach rechts hin verschoben. Sucht man einen der gesehenen Gegenstände zu greifen, indem man die Augen schliesst, ehe man die Hand im Gesichtsfelde erscheinen sieht, so greift man rechts daran vorbei. Sieht man aber bei diesem Versuche nach der Hand hin, so führt man sie richtig, indem man das Gesichtsbild der Hand nach dem Gesichtsbilde des Objectes hinführt, das man greifen will. Hat man eine bis zwei Minuten lang mit der Hand die Objecte betastet, und ist ihr mit den Augen gefolgt, so ist, trotz der täuschenden Brille, die neue Uebereinstimmung zwischen Auge und Hand hergestellt, und man weiss nun die falsch gesehenen Gegenstände richtig zu greifen, auch wenn man die Augen schliesst. Ja, man weiss sie jetzt auch mit der anderen nicht gesehenen Hand richtig zu greifen, woraus folgt, dass nicht die Wahrnehmung durch den Tastsinn den falschen Gesichtsbildern, sondern, im Gegentheil, die Gesichtswahrnehmung derjenigen des Tastsinns angepasst und nach letzterer berichtigt worden ist. Nimmt man aber, nachdem man mit diesen Versuchen eine Weile fortgefahren ist, die Brille ab, betrachtet die Gegenstände mit freien Augen, ohne die Hand zu zeigen, und sucht jetzt die Dinge zu greifen, indem man die Augen schliesst, so fährt man nun nach der entgegengesetzten Seite, nämlich nach links, vorbei. Die neue Verbindung zwischen den Gesichts- und Tastwahrnehmungen wirkt dann noch fort, auch nachdem die normalen Verhältnisse wieder eingetreten sind.

Wenn wir unter dem umkehrenden zusammengesetzten Mikroskope mit Nadeln präpariren, und selbst schon, wenn wir lernen, uns nach dem Rechts und Links verkehrenden Bilde eines gewöhnlichen Spiegels zu rasiren, tritt ebenfalls eine neue Anpassung der Bewegungen an ein abweichendes Gesichtsbild ein.

Während die bisher erwähnten Fälle, wo das Anschauungsbild eines flächenhaften Gesichtsfeldes den wirklich vorhandenen Netzhautbildern im Wesentlichen gleichartig und ähnlich ist, sich den beiden einander entgegenstehenden Theorien ziemlich gleich gut anpassen lassen, stellt sich die Sache ganz anders, wenn wir zur Betrachtung nahe vor uns befindlicher, nicht nur nach zwei, sondern nach drei Dimensionen ausgedehnter Objecte übergehen. Hier tritt eine wesentliche und tief eingreifende Incongruenz zwischen unseren Netzhautbildern einerseits, und sowohl der wirklichen Aussenwelt, als dem richtigen Anschauungsbilde, das wir von ihr haben, andererseits ein. Auf diesem Gebiete ist die Ent-

scheidung zwischen den einander gegenüber stehenden Theorien zu suchen, und dieses Gebiet, die Lehre von der Tiefenwahrnehmung des Gesichtsfeldes und vom binocularen Sehen, durch welches jene hauptsächlich zu Stande kommt, ist deshalb auch schon seit einer Reihe von Jahren der Tummelplatz vieler Untersuchungen und vieler Streitigkeiten gewesen. In der That sind es, wie das Vorhergehende zeigt, fundamentale Fragen von grosser Wichtigkeit und weit reichender Bedeutung für alles menschliche Wissen, die hier zur Entscheidung drängen.

Jedes unserer Augen entwirft ein flächenhaftes Bild auf seiner Netzhaut. Wie man sich auch die Nervenleitungen angelegt denken mochte, im Gehirn konnten die beiden vereinigten Netzhautbilder doch immer nur durch ein flächenhaftes Bild repräsentirt werden. Aber an Stelle der zwei flächenhaften Netzhautbilder finden wir in unserer Anschauung ein körperliches Bild nach drei Dimensionen gedehnt. Auch hier ist, wie im Systeme der Farben, die Aussenwelt wieder reicher um eine Dimension, als die Empfindung; aber dies Mal folgt die Anschauung in unserem Bewusstsein dem Reichthum der Aussenwelt vollkommen nach. Diese unsere Tiefenanschauung ist, wohl zu bemerken, ebenso lebendig, unmittelbar und genau, wie die Anschauung der flächenhaften Dimensionen des Gesichtsfeldes. Wenn wir einen Sprung von einem Stein zum anderen machen, so hängen Gesundheit und Leben nicht nur davon ab, dass wir die Entfernung des Steins von uns richtig schätzen, sondern auch davon, dass wir ihn nicht zu weit nach rechts oder nach links verlegen; und wir thun das eine ebenso schnell und ebenso sicher, wie das andere.

Wie kann nun Tiefenanschauung zu Stande kommen? Lernen wir zunächst die Thatsachen kennen.

Zuerst ist zu bemerken, dass die Unterscheidung der körperlichen Form der Gegenstände und ihres verschiedenen Abstandes von uns nicht ganz fehlt, auch wenn wir dieselben nur mit einem Auge und ohne uns von der Stelle zu bewegen betrachten. Die Hilfsmittel, die uns dabei zu Gebote stehen, sind wesentlich dieselben, welche der Maler anwenden kann, um den auf seiner Leinwand dargestellten Gegenständen den Schein einer körperlichen Form und verschiedener Entfernung zu geben. Wir loben es, wenn in einem Gemälde die Objecte nicht flach, sondern kräftig körperlich hervorspringend erscheinen. Beobachten wir nun den Landschaftsmaler, so finden wir: er liebt tief stehende Sonne, welche ihm starke Schatten giebt, denn diese heben die Form der

dargestellten Objecte kräftig hervor; er liebt eine nicht ganz klare Luft, denn leichte Trübung derselben macht die Ferne stark zurücktreten. Er liebt Staffage von Menschen und Vieh; denn an den Gegenständen von bekannter Grösse orientiren wir uns leicht über die wahre Grösse der dargestellten Objecte und über ihre scheinbare Entfernung. Endlich sind auch Gebäude nützlich für die Orientirung, denn sie geben unzweideutig die Richtung der Horizontalebene zu erkennen. Am vollkommensten gelingt die Darstellung der Körperform bei Gegenständen von regelmässiger und symmetrischer Form, wie richtig construirte Zeichnungen von Gebäuden, Maschinen und Geräthschaften lehren. Bei diesen wissen wir, dass ihre Körperform in den Hauptzügen entweder durch rechtwinklig auf einander stossende Ebenen oder durch kugelige und drehrunde Flächen begrenzt wird. Dies genügt, um für unser Verständniss zu ergänzen, was die Zeichnung unmittelbar nicht ergiebt; ja schon die Symmetrie der beiden Seiten des menschlichen und des thierischen Körpers erleichtert das Verständniss ihrer perspectivischen Abbildungen.

Dagegen an Körpern von unbekannter und ganz unregelmässiger Gestalt wie Felsen, Eisblöcke u. s. w., scheitert auch die Kunst des besten Malers; ja die von der Natur selbst vollendete, getreueste Darstellung solcher Gegenstände in Photographien zeigt oft nichts als ein unverständliches Gemenge dunkler und heller Flecke. Haben wir die gleichen Gegenstände dagegen in Wirklichkeit vor Augen, so genügt ein Blick, um ihre Form genau aufzufassen.

Einer der grossen Meister der Malerei war es, der zuerst genau ausgesprochen hat, worin die Anschauung des wirklichen Gegenstandes jedem Gemälde nothwendig überlegen ist. Leonardo da Vinci, der als Physiker fast ebenso gross war, wie als Maler, machte in seinem Trattato della pittura schon darauf aufmerksam, dass wir mit zwei Augen sehen, und dass deren beide Ansichten der Welt nicht ganz mit einander identisch sind. Jedes Auge nämlich sieht in seinem Netzhautbilde eine perspectivische Ansicht der vor ihm liegenden Gegenstände; aber da beide Augen etwas verschiedenen Ort im Raume haben, so ist der Standpunkt, von dem aus ein jedes seine perspectivische Aufnahme vollzieht, nicht gleich, und demnach das perspectivische Bild des einen etwas verschieden von dem des anderen Auges. Wenn ich meinen Finger vor mich hinhalte, und abwechselnd das rechte und linke Auge öffne und schliesse, so deckt mir der Finger

in dem Bilde des linken Auges eine weiter nach rechts gelegene Stelle der gegenüberliegenden Zimmerwand, als im Bilde des rechten Auges. Wenn ich meine ausgestreckte rechte Hand so halte, dass der Daumen dem Gesicht zugekehrt ist, so sehe ich mit dem rechten Auge mehr vom Rücken der Hand, mit dem linken mehr von der Fläche. Aehnlich verhält es sich, so oft wir Körper anblicken, deren verschiedene Theile verschiedene Entfernung von unseren Augen haben. Wenn ich aber eine Hand in der Lage, wie ich die meinige eben betrachtete, in einem Gemälde dargestellt sähe, so würde das rechte, wie das linke Auge genau dieselbe Darstellung sehen, das eine genau ebenso viel, wie das andere, vom Rücken, wie von der Fläche der Hand. Also: die körperlichen Objecte zeigen beiden Augen verschiedene Bilder, ein Gemälde zeigt beiden gleiche Bilder. Darin liegt eine Verschiedenheit des sinnlichen Eindrucks, die auch die grösste Vollkommenheit der Darstellung in einem ebenen Bilde nicht beseitigen kann.

Wie viel nun in der That das Sehen mit zwei Augen und die Verschiedenheit der Bilder beider Augen zur sinnlichen Anschauung der Tiefendimension des Gesichtsfeldes beiträgt, das hat in der augenscheinlichsten Weise Wheatstone's Erfindung des Stereoskops gelehrt. Dieses Instrument, und die eigenthümliche Täuschung, die es hervorbringt, darf ich wohl als bekannt voraussetzen. Wir sehen darin die körperliche Form der auf den stereoskopischen Bildern dargestellten Objecte mit der vollen sinnlichen Evidenz, wie wir sie an den Objecten selbst sehen würden, wenn wir diese vor uns hätten. Die Täuschung wird dadurch bewirkt, dass beiden Augen etwas verschiedene Bilder gezeigt werden, und zwar dem rechten Auge ein Bild, dass das Object perspectivisch darstellt, wie es von dem angenommenen Standpunkte des rechten Auges erscheinen würde, und dem linken ein Bild, wie es vom Standpunkte des linken Auges erscheinen würde. Sind die Bilder gut und genau ausgeführt, zum Beispiel durch photographische Aufnahme des Objects von zwei verschiedenen Standpunkten aus, so erhalten wir im Stereoskop denselben Gesichtseindruck, den uns das Object selbst gewähren würde, abgesehen von der Färbung.

Um zwei stereoskopische Bilder zu einer körperlichen Anschauung zu combiniren, ist für Jemanden, der seine Augenbewegungen hinreichend zu beherrschen weiss, gar kein Instrument nöthig. Man muss nur die Augen so zu richten wissen, dass beide

gleichzeitig entsprechende Punkte beider Bilder fixiren. Bequemer aber wird es mit Hilfe von Instrumenten, welche die beiden Bilder scheinbar an denselben Ort verlegen.

In dem ursprünglichen Instrumente von Wheatstone, dargestellt in Fig. 49, blickte das rechte Auge des Beobachters in den Spiegel *b*, das linke in den Spiegel *a*. Beide Spiegel standen

Fig. 49.

schräg gegen die Gesichtslinien des Beobachters und die beiden Bilder waren bei *g* und *k* seitlich so aufgestellt, dass beide Spiegelbilder derselben scheinbar an denselben Ort hinter die beiden Spiegel fielen. Das rechte Auge aber sah in seinem Spiegel das ihm zugehörige Bild, das linke ebenso das andere Bild in dem anderen Spiegel.

Bequemer, wenn auch weniger scharf in den Bildern ist das gewöhnliche Prismenstereoskop von Brewster, dargestellt in Fig. 50. Hier befinden sich die beiden Bilder neben einander auf einem Blatte, und werden in den unteren Theil des Stereoskopes gelegt, welches einen durch eine Scheidewand *S* in zwei Hälften getheilten Kasten bildet. Oben sind zwei schwach prismatische Gläser mit convexen Flächen angebracht, welche die Bilder etwas entfernter, etwas grösser und gleichzeitig scheinbar gegen die Mitte des Kastens hin verschoben sehen lassen. Die Fig. 51, welche einen Durchschnitt des oberen Theils des Instrumentes darstellt, lässt in *L* und *R* die Durchschnitte der beiden prismatischen Gläser sehen. So kommen für den Beschauer auch hier beide Bilder wieder scheinbar an denselben Ort in der Mittelebene des Kastens zu liegen, und jedes Auge sieht allein das ihm zugehörige Bild.

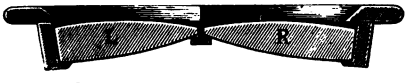
Am augenfälligsten ist die stereoskopische Täuschung uns die übrigen Hilfsmittel für die Erkennung der körper

Form im Stich lassen, wie bei geometrischen Linienfiguren, zum Beispiel bei Abbildungen von Krystallmodellen; oder bei Darstellungen ganz unregelmässiger Körper, namentlich wenn diese durchscheinend und deshalb nicht, wie es uns an undurchsichtigen Körpern geläufig ist, beschattet sind. So zeigen stereoskopische

Fig. 50.

Photographien von Gletschereisblöcken dem einzelnen Auge oft nur ein unverständliches Gewirr von dunklen und hellen Flecken, während das Stereoskop das von Spalten durchzogene, vom Lichte durchschienene, klare Eis mit seinen glatten glänzenden Flächen in der sinnlichsten Lebendigkeit hervortreten lässt.

Fig. 51.



Schon manches Mal ist es mir so gegangen, dass Gebäude, Städte, Landschaften, die ich aus stereoskopischen Bildern kannte, wenn ich ihnen zum ersten Male wirklich gegenüberstand, nicht mehr den Eindruck des Neuen machten. Das ist mir früher niemals nach dem Anblicke gewöhnlicher Abbildungen und Gemälde vorgekommen, weil diese den sinnlichen Eindruck doch immer nur unvollständig wiedergeben können.

Auch ist die Genauigkeit des stereoskopischen Sehens staunenswerth. Dove hat davon eine sehr sinnreiche Anwendung gemacht. Wenn man nämlich zwei Stücke gedruckten Papiers, welche beide mit demselben Buchstabensatze oder derselben Kupferplatte gedruckt, und daher in ihren Formen ganz gleich sind, statt der stereoskopischen Zeichnungen in das Stereoskop bringt, so com-

biniren sie sich zu dem Bilde einer vollkommen ebenen Fläche, entsprechend dem, was ich vorher über die Gleichheit der beiderseitigen Netzhautbilder eines ebenen Gemäldes gesagt habe. Keine menschliche Geschicklichkeit ist aber im Stande, die Buchstaben und Zeichen einer Kupferplatte auf einer zweiten so genau zu wiederholen, dass nicht Unterschiede zwischen den Abdrücken beider Platten beständen, sondern bei stereoskopischer Combination beider Drucke werden sofort einzelne Buchstaben und Linien vor den anderen hervor-, und andere zurücktreten. Es ist dies das leichteste Mittel falsches Papiergeld zu erkennen. Man lege einen verdächtigen Schein mit einem echten zusammen in das Stereoskop und untersuche, ob in dem gemeinsamen Bilde alle Züge in gleicher Ebene erscheinen.

Diese Thatsache ist auch für die Theorie des Sehens wichtig, weil sie in sehr schlagender Weise die Lebendigkeit, Sicherheit und Feinheit der durch die Verschiedenheiten beider Netzhautbilder bedingten Tiefenanschauungen lehrt.

Nun kommen wir zu der Frage: Wie ist es möglich, dass zwei verschiedene perspectivische und flächenhafte Netzhautbilder, zwei Bilder von zwei Dimensionen, sich vereinigen in ein körperliches Anschauungsbild, ein Bild von drei Dimensionen?

Zunächst ist zu constatiren, dass wir die zwei flächenhaften Bilder, welche uns beide Augen geben, wirklich auch unterscheiden können. Wenn ich meinen ausgestreckten Finger vor mich hinhalte und nach der gegenüberliegenden Wand blicke, so deckt der Finger jedem Auge einen anderen Theil der Wand, wie ich vorher schon erwähnte. Ich sehe also den Finger zwei Mal, vor zwei verschiedenen Stellen der Wand; und wenn ich diese einfach sehe, so sehe ich ein Doppelbild des Fingers.

Beim gewöhnlichen Sehen, wo wir auf die Körperform der gesehenen Dinge achten, bemerken wir diese Doppelbilder gar nicht, oder wenigstens nur unter sehr auffallenden Umständen. Um sie zu sehen, müssen wir das Gesichtsfeld in anderer Weise betrachten, nämlich so, wie ein Zeichner es thut, der es nachbilden will. Dieser sucht die wirkliche Form, Grösse, Entfernung der Gegenstände, die er darstellen will, zu vergessen. Er sucht sie nur so zu sehen, wie sie flächenhaft im Gesichtsfelde erscheinen, um sie dann wieder auf der Fläche der Zeichnung ebenso darzustellen. Man sollte denken, dies wäre die einfachere und ursprünglichere Art des Sehens; auch ist sie von den meisten Physiologen bisher als die durch unmittelbare Empfindung

gegebene Anschauungsform betrachtet worden, die Körperanschauung aber als eine erlernte, secundäre Art des Sehens, als eine durch Erfahrung bedingte Vorstellung. Jeder Zeichner dagegen weiss, dass es viel schwerer ist, die scheinbare Form, unter der die Gegenstände im Gesichtsfelde uns erscheinen, aufzufassen und vergleichend abzumessen, als ihre wahre körperliche Form und Grösse. Die Anschauung dieser, welche der Zeichner nicht loswerden kann, ist es namentlich, die das Zeichnen nach der Natur erschwert.

Wenn wir also das Gesichtsfeld in der besonderen Art, wie es der Zeichner thut, mit beiden Augen betrachten, und unsere Aufmerksamkeit auf die flächenhaften Formen richten, dann fallen uns in der That die Verschiedenheiten der beiden Netzhautbilder in die Augen; dann erscheinen diejenigen Gegenstände doppelt, welche näher oder ferner vom Auge liegen als der Fixationspunkt, und nicht zu weit seitlich von diesem entfernt sind, um noch eine deutliche Unterscheidung ihrer Lage zuzulassen. Im Anfange erkennt man nur weit auseinander liegende Doppelbilder, bei grösserer Uebung in der Beobachtung auch solche von geringer Differenz der Lage.

Halte ich also einen Finger in einiger Entfernung von meinem Antlitz und blicke nach der gegenüberstehenden Wand, wobei der Finger, wie schon vorher bemerkt, meinem rechten Auge andere Punkte der Wand deckt als dem linken, so sehe ich, wenn ich beide Augen gleichzeitig öffne, die Wand, deren einen Punkt ich fixire, einfach; zwei verschiedene Stellen der Wand aber mit dem Finger zusammenfallend und von diesem theilweise gedeckt; demgemäss kann der Finger nicht anders als doppelt erscheinen.

Alle diese und ähnliche Erscheinungen, welche die Lage der Doppelbilder eines zweiäugig gesehenen Gegenstandes darbietet, lassen sich auf eine einfache Regel zurückführen, welche von Johannes Müller formulirt worden ist. Zu jedem Punkt auf einer Netzhaut gehört ein correspondirender Punkt auf der anderen. Im gemeinsamen flächenhaften Gesichtsfelde beider Augen fallen der Regel nach Bilder correspondirender Punkte zusammen, Bilder nicht correspondirender auseinander. Correspondirend sind (von kleinen Abweichungen abgesehen) Punkte beider Netzhäute, welche gleich weit nach rechts oder links, und gleich weit nach oben oder unten vom Fixationspunkte liegen.

Ich habe schon oben erwähnt, dass die nativistische Theorie des

Sehens eine vollkommene Verschmelzung derjenigen Empfindungen voraussetzen muss und vorausgesetzt hat, welche von correspondirenden oder, wie sie Johannes Müller nannte, identischen Punkten aus erregt werden. Diese Annahme fand ihren prägnantesten Ausdruck in der anatomischen Hypothese, dass die zwei Nervenfasern, welche von correspondirenden Stellen beider Netzhäute ausgehen, sich entweder in der Kreuzungsstelle der Sehnerven oder im Gehirn zu einer einzigen vereinigen sollten. Ich bemerke dabei, dass Johannes Müller die Möglichkeit einer solchen mechanischen Erklärung zwar angedeutet, aber sie doch nicht als definitiv angenommen hat. Er wollte sein Gesetz von den identischen Punkten als Ausdruck der Thatsachen betrachtet wissen, und legte nur Gewicht darauf, dass die Localisation ihrer Empfindungen im Gesichtsfeld immer die gleiche sei.

Nun trat aber die Schwierigkeit ein, dass wir die Doppelbilder jedesmal, wenn ihre Verschmelzung in die Anschauung eines räumlich ausgedehnten Gegenstandes möglich ist, ziemlich ungenau unterscheiden, was einen um so auffallenderen Contrast bildet zu der ausserordentlichen Genauigkeit, mit der wir, wie Dove nachgewiesen hat, das stereoskopische Relief beurtheilen. Und doch geschieht das letztere mittelst derselben Differenzen der Netzhautbilder, welche der Erscheinung der Doppelbilder zu Grunde liegen. Eine sehr kleine Differenz zweier stereoskopischer Bilder kann genügen, um den Eindruck eines gewölbten Reliefs hervorzubringen, während sie zwanzig bis dreissig Mal so gross gemacht werden müsste, um uns in wirklichen Doppelbildern merklich zu werden, selbst wenn wir die allersorgfältigste Beobachtung durch einen wohlgeübten Beobachter voraussetzen.

Dazu kommen dann allerlei andere Umstände, die die Wahrnehmung der Doppelbilder bald erschweren, bald erleichtern. Am auffallendsten ist sie erschwert bei der Anschauung des Reliefs. Je lebendiger sich diese aufdrängt, desto schwerer ist es, die Doppelbilder zu sehen; daher bei wirklichen Objecten schwerer, als bei ihren stereoskopischen Abbildungen. Erleichtert wird dagegen die Beobachtung, wenn entweder Färbung oder Helligkeit der Linien in beiden Zeichnungen verschieden ist, oder wenn Linien und Punkte in die Zeichnungen hineingesetzt werden, die in beiden correspondirend liegen, und nun durch ihren Gegensatz die mangelnde Uebereinstimmung der benachbarten nicht genau correspondirenden Linien und Punkte herausheben. Alle diese Umstände sollten billiger Weise keinen Einfluss haben, wenn die

gleiche Localisation der Empfindung durch irgend welche Verbindung der Nervenleitungen gesetzt wäre.

Dazu kam ferner nach der Erfindung des Stereoskops die Schwierigkeit, die Tiefenwahrnehmungen durch die Differenz der beiden Netzhautbilder zu erklären. Zunächst machte Brücke auf eine Reihe von Thatsachen aufmerksam, welche eine Vereinigung der stereoskopischen Erscheinungen mit der Theorie der angeborenen Identität der Netzhäute möglich zu machen schienen. Beobachten wir den Gang unseres Blicks bei der Betrachtung stereoskopischer Bilder oder entsprechender Gegenstände, so bemerken wir, dass wir nach einander den verschiedenen Umrisslinien folgen, so dass wir den jedesmal fixirten Punkt einfach sehen, während andere Punkte in Doppelbildern erscheinen. Für gewöhnlich ist unsere Aufmerksamkeit aber auf den fixirten Punkt concentrirt und wir bemerken die Doppelbilder so wenig, dass sie erwachsenen Leuten, die man darauf aufmerksam macht, zuweilen eine ganz neue Erscheinung sind. Da wir nun bei der Verfolgung der Umrisse einer solchen Figur die Augen ungleichmässig hin und her bewegen, sie bald mehr convergiren, bald mehr divergiren lassen müssen, je nachdem wir anscheinend nähere oder fernere Theile des Umrisses durchlaufen, so könnten diese Ungleichmässigkeiten der Bewegung Veranlassung dazu geben, die Vorstellung von verschiedener Entfernung der gesehenen Linien auszubilden. In der That ist es richtig, dass man durch solche Bewegung des Blicks über eine stereoskopische Linienzeichnung ein viel deutlicheres und genaueres Bild von dem durch sie dargestellten Relief gewinnt, als bei starrem Fixiren eines Punktes. Die Ursache liegt vielleicht einfach darin, dass man bei der Bewegung des Blicks nach einander alle Punkte der Figur direct und daher viel schärfer sieht, als wenn man nur einen direct, die anderen indirect erblickt.

Brücke's Voraussetzung, die Tiefenwahrnehmung komme nur durch und bei der Bewegung des Blicks zu Stande, erwies sich aber nicht als stichhaltig den Versuchen von Dove gegenüber, welche zeigten, dass die eigenthümliche Täuschung durch stereoskopische Bilder auch zu Stande komme bei der Beleuchtung mit dem elektrischen Funken. Das Licht eines solchen dauert noch nicht den viertausendsten Theil einer Secunde. Innerhalb eines so kleinen Zeitraums bewegen sich schwere irdische Körper, selbst bei sehr bedeutenden Geschwindigkeiten, so wenig vorwärts, dass sie absolut stillstehend erscheinen. Daher kann während der Dauer des Funkens auch nicht die kleinste merkliche Augen-

bewegung zu Stande kommen, und doch erhalten wir dabei den vollkommenen Eindruck des stereoskopischen Reliefs.

Dass ferner eine solche Verschmelzung der Empfindungen beider Augen, wie sie die anatomische Hypothese voraussetzt, gar nicht stattfindet, zeigt das Phänomen des stereoskopischen Glanzes, das ebenfalls Dove entdeckt hat. Wenn nämlich eine Fläche im einen stereoskopischen Bilde weiss, im anderen aber schwarz ist, so erscheint sie in dem vereinigten Bilde glänzend, selbst, wenn das Papier der Zeichnung ganz stumpf und ohne Glanz ist. Man hat oft stereoskopische Zeichnungen von Krystallmodellen so ausgeführt, dass die eine weisse Linien auf schwarzem Grunde, die andere schwarze Linien auf weissem Grunde zeigt. Das Ganze sieht dann aus, als wäre das Krystallmodell aus glänzendem Graphit gearbeitet. Noch schöner kommt auf stereoskopischen Photographien durch dasselbe Mittel der Glanz des Wassers, der Pflanzenblätter u. s. w. zu Stande.

Die Erklärung dieses eigenthümlichen Phänomens ist folgende: Eine matte Fläche, zum Beispiel die von mattem weissem Papier, wirft das auffallende Licht nach allen Richtungen in gleichem Maasse zurück, und sieht deshalb immer gleich hell aus, von welcher Seite man sie auch ansehen mag; sie erscheint also auch nothwendig beiden Augen gleich hell. Eine glänzende Fläche giebt dagegen ausser dem gleichmässig nach allen Richtungen zerstreuten Lichte auch noch Reflexe, deren Licht nur nach gewissen Richtungen geht. Nun kann das eine Auge von solchem reflectirten Lichte getroffen werden, ohne dass nothwendig das andere getroffen wird. Dann erscheint die reflectirende Fläche dem einen Auge viel heller, als dem anderen; und da dies nur bei glänzenden Körpern vorkommen kann, so glauben wir im stereoskopischen Bilde Glanz zu sehen, wenn dieser Eindruck nachgeahmt ist.

Käme eine Verschmelzung der Eindrücke beider Netzhautbilder vor, so müsste die Vereinigung von Weiss und Schwarz Grau geben. Dass Weiss und Schwarz, stereoskopisch combinirt, Glanz geben, also einen sinnlichen Eindruck hervorbringen, der durch keinerlei Art von grauen gleichgefärbten Flächen erhalten werden kann, zeigt, dass die Eindrücke der beiden Netzhautbilder nicht in der Empfindung verschmelzen.

Dass der Eindruck des Glanzes auch nicht auf einem Wechsel zwischen dem Eindruck des einen und anderen Auges, oder auf dem sogenannten Wettstreit der Netzhäute beruht, zeigt sich

wieder bei der momentanen Beleuchtung solcher Bilder durch den elektrischen Funken. Denn der Eindruck des Glanzes kommt dabei vollkommen zur Erscheinung.

Ja, es lässt sich zeigen, dass die beiden Empfindungen, welche wir von beiden Augen erhalten, nicht einmal gleich sind, vielmehr wohl unterschieden werden. Denn wenn die Empfindung, welche uns das rechte Auge giebt, ununterscheidbar gleich wäre derjenigen, welche das linke giebt, so müsste es wenigstens beim Lichte des elektrischen Funkens, wo keine Augenbewegungen der Unterscheidung zu Hilfe kommen können, gleichgültig sein, ob wir das rechte Bild dem rechten, das linke dem linken Auge zeigen, oder umgekehrt das rechte Bild nach links, das linke nach rechts legen. Das ist aber keineswegs gleichgültig; denn, wenn wir die Vertauschung ausführen, bekommen wir das umgekehrte Relief des Gegenstandes; was ferner sein sollte, sieht näher aus, was erhaben sein sollte, sieht vertieft aus, und umgekehrt. Da wir nun auch bei der Beleuchtung mit dem elektrischen Funken niemals das richtige Relief mit dem verkehrten verwechseln, so zeigt dies mit Bestimmtheit, dass der Eindruck vom rechten Auge dem des linken nicht ununterscheidbar gleich sei.

Sehr eigenthümlich und interessant endlich sind die Erscheinungen, wenn man beiden Augen gleichzeitig Bilder vorlegt, welche sich nicht zur Anschauung eines Gegenstandes vereinigen lassen. Wenn man zum Beispiel das eine Auge auf ein mit Schrift bedrucktes Blatt, das andere auf einen Kupferstich blicken lässt. Dann tritt nämlich der sogenannte Wettstreit der Sehfelder ein. Man sieht dann nicht beide Bilder gleichzeitig sich deckend, sondern an einzelnen Stellen drängt sich das eine und an anderen das andere hervor. Sind beide Zeichnungen gleich deutlich, so wechseln gewöhnlich nach einigen Secunden die Stellen, wo man das eine oder andere sieht. Bietet aber das eine Bild an einer Stelle des Gesichtsfeldes gleichmässigen weissen oder schwarzen Grund ohne Unterbrechung, das andere ebendaselbst markirte Umrisse, so herrschen in der Regel die letzteren dauernd vor und unterdrücken die Wahrnehmung des gleichmässigen Grundes. Ich muss jedoch, den gegentheiligen Angaben früherer Beobachter entgegen, hervorheben, dass man diesen Wettstreit durch willkürliche Richtung der Aufmerksamkeit jeder Zeit beherrschen kann. Wenn man die Buchstaben zu lesen versucht, so bleiben sie dauernd stehen, wenigstens da, wo man eben zu lesen hat.

Sucht man im Gegentheil der Schraffirung und den Umrissen des Kupferstiches zu folgen, so treten diese dauernd hervor. Ich finde ferner, dass man die Aufmerksamkeit unter solchen Umständen auf ein ganz schwach beleuchtetes Object fesseln, und ein deckendes viel helleres, was im Netzhautbilde des anderen Auges steht, dafür verdrängen kann. Zum Beispiel kann man die Faserung einer gleichmässig weissen reinen Papierfläche verfolgen, und starke schwarze Zeichnungen des anderen Feldes dabei verdrängen. Der Wettstreit entspricht also nicht dem Vorherrschen oder Schwanken einer Empfindung, sondern der Fesselung oder dem Schwanken der Aufmerksamkeit. Es ist vielleicht kein Phänomen so geeignet wie dieses, um die Motive zu studiren, welche geeignet sind, die Aufmerksamkeit zu lenken. Es genügt nicht bloss die bewusste Absicht dazu, jetzt mit dem einen Auge zu sehen, dann mit dem anderen, sondern man muss sich eine möglichst deutliche sinnliche Vorstellung hervorrufen von dem, was man zu sehen wünscht. Dann tritt dies auch in der Erscheinung hervor. Ueberlässt man aber den Vorstellungslauf sich selbst, ohne ihn durch eine bestimmte Absicht zu fesseln, so tritt unwillkürlich jenes Schwanken ein, welches man mit dem Namen des Wettstreites belegt. Dabei siegen in der Regel sehr helle und stark gezeichnete Objecte über dunklere und schwach unterscheidbare im anderen Felde, entweder dauernd oder wenigstens für längere Zeit.

Ja selbst, wenn man vor beide Augen verschiedenfarbige Gläser hält, und durch sie nach den gleichen Objecten des Gesichtsfeldes sieht, tritt ein ähnlicher Wettstreit zwischen den Farben ein, indem fleckweise bald die eine, bald die andere hervortritt; erst nach einiger Zeit, wenn die Lebhaftigkeit der Farben in beiden Augen durch die eintretende einseitige Ermüdung und die von ihr hervorgebrachten complementären Nachbilder geschwächt ist, beruhigt sich der Wechsel, und man sieht dann eine Art von Mischfarbe aus den beiden ursprünglichen Farben.

Auf die eine oder andere Farbe ist es viel schwerer die Aufmerksamkeit zu fixiren, als auf verschiedene Muster, die man zum Wettstreit gebracht hat. Denn die Aufmerksamkeit lässt sich eben nur dann auf einen sinnlichen Eindruck dauernd fixiren, wenn man fortdauernd etwas Neues daran zu verfolgen findet. Aber man kann nachhelfen, wenn man von der dem Auge zugekehrten Seite der Glasplatten Buchstaben oder Linienmuster spiegeln

lässt, und auf diese die Aufmerksamkeit fixirt. Diese Spiegelbilder sind weiss, und nicht farbig; sobald man aber auf eines derselben die Aufmerksamkeit richtet, tritt auch die entsprechende Farbe des Grundes in die Wahrnehmung ein.

Ueber diese den Wettstreit der Farben betreffenden Versuche hat zwischen den besten Beobachtern ein sonderbarer Streit geherrscht, dessen Möglichkeit für die Art dieses Vorganges charakteristisch ist. Ein Theil der Beobachter — und unter ihnen finden wir die Namen von Dove, Regnault, Brücke, Ludwig, Panum, Hering — behaupten bei binocularer Combination zweier Farben deren Mischfarbe zu sehen. Andere, wie Meyer in Zürich, Volkmann, Meissner, Funke, erklären ebenso bestimmt, nie die Mischfarbe gesehen zu haben. Ich selbst muss mich durchaus den letzteren anschliessen, und eine sorgfältige Prüfung derjenigen Fälle, wo etwa der Anschein entstehen konnte, als sähe ich die Mischfarbe, hat mir immer gezeigt, dass ich Contrasterscheinungen vor mir hatte. Jedes Mal, wenn ich die wirkliche Mischfarbe neben die binoculare Farbenmischung brachte, zeigte sich mir der Unterschied beider vollkommen deutlich. Andererseits kann wohl kein Zweifel sein, dass die erstgenannten Beobachter gesehen haben, was sie zu sehen angeben, und dass hier also wirklich eine grosse individuelle Verschiedenheit besteht. In gewissen Fällen, die Dove gerade als besonders geeignet empfiehlt (binoculare Verbindung complementärer Polarisationsfarben zu Weiss), konnte ich nicht den geringsten Schein einer Mischung erhalten.

Diese auffällige Verschiedenheit bei einer verhältnissmässig so einfachen Beobachtung scheint mir von grösstem Interesse zu sein, und eine merkwürdige Bestätigung für die oben besprochene Voraussetzung der empiristischen Theorie zu geben, dass im Allgemeinen nur solche Empfindungen als örtlich getrennt angeschaut werden, die sich durch willkürliche Bewegungen von einander trennen lassen. Auch wenn wir mit einem Auge eine gemischte Farbe sehen, entstehen nach Thomas Young's Theorie drei verschiedene Empfindnngen neben einander; diese sind aber bei keiner Bewegung des Auges von einander zu trennen, sondern bleiben immer in gleicher Weise local vereinigt. Und doch haben wir gesehen, dass auch für diese ausnahmsweise eine Trennung in der Anschauung zu Stande kommt, sobald der Schein entsteht, dass ein Theil der Farbe einer durchsichtigen Decke angehört. Bei der Beleuchtung zweier correspondirender

Netzhautstellen mit verschiedenen Farben wird eine Trennung derselben beim gewöhnlichen Sehen zwar nicht oft vorkommen, und wenn sie vorkommt, meist in die nicht beachteten Theile des Gesichtsfeldes fallen. Aber eine solche Trennung in zwei, bei den Augenbewegungen sich einigermaassen unabhängig von einander bewegende Bestandtheile ist doch angebahnt; und es wird von dem Grade der Aufmerksamkeit abhängen, den der Beobachter dem indirect gesehenen Theile des Gesichtsfeldes und den vorkommenden Doppelbildern zuzuwenden pflegt, ob er mehr oder weniger gut gelernt haben wird, die Farben, welche gleichzeitig beide Netzhäute treffen, von einander zu trennen oder nicht zu trennen. Monoculare und binoculare Farbenmischung erregen mehrere Farbenempfindungen gleichzeitig und mit gleicher Localisation derselben im Gesichtsfelde. Der Unterschied in der Anschauung besteht nur darin, ob wir entweder diesen Complex von Empfindungen unmittelbar als ein zusammengehöriges Ganze auffassen, ohne es weiter in seine Theile zu zerlegen, oder ob wir eine gewisse Uebung gewonnen haben, die Theile, aus denen es besteht, zu erkennen und von einander zu trennen. Ersteres thun wir überwiegend, aber doch nicht immer, bei der monocularen Farbenmischung; zu letzterem sind wir geneigter bei der binocularen Mischung. Da aber diese Neigung sich wesentlich stützen muss auf die durch frühere Beobachtung erlangte Uebung der Unterscheidung, so ist zu verstehen, warum sie so grosse individuelle Eigenthümlichkeiten zeigt.

Achtet man auf den Wettstreit bei der Verbindung zweier stereoskopischer Zeichnungen, von denen die eine mit schwarzen Linien auf weissem, die andere mit weissen Linien auf schwarzem Grunde ausgeführt ist, so zeigt sich, dass die nahe correspondirend liegenden weissen und schwarzen Linien immer neben einander sichtbar bleiben, was nur geschehen kann, indem auch gleichzeitig das Weiss des einen Grundes und das Schwarz des anderen stehen bleibt. Dadurch entsteht auf dem scheinbar graphitähnlich glänzenden Grunde eine viel ruhigere Art des Eindruckes, als der während eines Wettstreites zu Stande kommende, wie ihn ganz differente Zeichnungen hervorbringen. Am schönsten sieht man dies, wenn man neben die schwarze Hälfte der Zeichnung noch ein bedrucktes weisses Blatt legt, so dass der schwarze Grund nach der einen Seite hin Glanz, nach der anderen Seite hin, binocular sich deckend, Wettstreit giebt. So lange man der Gestalt des dargestellten Objectes seine Auf-

merksamkeit zuwendet, und dieses mit dem Blick überläuft, sind die verschiedenfarbigen Contourlinien die gemeinsamen Führer des Fixationspunktes; und die Fixation kann nur dadurch erhalten bleiben, dass man fortdauernd beiden folgt. Daher muss man beide mit der Aufmerksamkeit festhalten, und dabei bleibt denn auch der Eindruck beider in gleichmässiger Weise neben einander bestehen. Es giebt kein besseres Mittel, den combinirten Eindruck beider Bilder dauernd festzuhalten, als das hier erwähnte. Man kann auch für kurze Zeit bei sich deckenden unähnlichen Zeichnungen beide theilweise combinirt sehen, indem man auf die Art achtet, wie sie sich decken, unter welchen Winkeln ihre Linien sich schneiden u. s. w. Aber sobald dann die Aufmerksamkeit sich einer dieser Linien zuwendet, verschwindet das andere Feld, dem diese Linie nicht angehört.

Wenn wir nun noch einmal auf die das zweiäugige Sehen betreffenden Thatsachen zurückblicken, so finden wir:

1) Die Erregungen correspondirender Stellen beider Netzhäute werden nicht in einen Eindruck ununterscheidbar verschmolzen, denn sonst wäre es nicht möglich, stereoskopischen Glanz zu sehen. Dass dieses Phänomen nicht aus dem Wettstreite zu erklären ist, selbst wenn man diesen als einen Vorgang der Empfindung, nicht der Aufmerksamkeit ansehen wollte, dass es im Gegentheil mit einer Hemmung des Wettstreites verbunden ist, wurde oben nachgewiesen.

2) Die Empfindungen, welche von Erregung correspondirender Netzhautstellen herrühren, sind nicht ununterscheidbar gleich; denn sonst würde es nicht möglich sein, bei momentaner Beleuchtung das richtige Relief eines stereoskopischen Bildes von dem pseudoskopischen zu unterscheiden.

3) Die Verschmelzung der beiden verschiedenen Empfindungen von correspondirenden Stellen kommt auch nicht dadurch zu Stande, dass eine derselben zeitweilig unterdrückt wird; denn die zweiäugige Tiefenwahrnehmung beruht nur darauf, dass beide verschiedene Bilder gleichzeitig zum Bewusstsein kommen. Eine solche Tiefenwahrnehmung ist aber möglich bei festliegendem Netzhautbilde und bei momentaner Beleuchtung.

Wir erkennen also durch diese Untersuchung, dass von beiden Augen her gleichzeitig zwei unterscheidbare Empfindungen unverschmolzen zum Bewusstsein kommen, und dass also ihre Verschmelzung zu dem einfachen Anschauungsbilde

der körperlichen Welt nicht durch einen vorgebildeten Mechanismus der Empfindung, sondern durch einen Act des Bewusstseins geschehen muss.

4) Wir finden ferner, dass die übereinstimmende Localisation der Gesichtseindrücke von correspondirenden Netzhautstellen im Gesichtsfelde zwar im Ganzen gleich oder wenigstens nahehin gleich ausfällt, dass aber die Vorstellung, welche beide Eindrücke auf dasselbe einfache Object bezieht, jene Gleichheit erheblich stören kann. Wäre jene Gleichheit der Localisation durch einen unmittelbaren Act der Empfindung gegeben, so würde diese Empfindung nicht durch eine entgegenstehende Vorstellung aufgehoben werden können. Etwas Anderes ist es, wenn die Gleichheit der Localisation correspondirender Bilder auf dem Augenmaass, das heisst einer durch Erfahrung eingeübten Abschätzung der Distanzen, also einer erworbenen Kenntniss der Bedeutung der Localisationszeichen beruht. Dann kämpft nur eine Erfahrung gegen die andere; dann ist es begreiflich, dass die Vorstellung, wonach zwei Gesichtsbilder demselben Objecte angehören, auf die Abschätzung ihrer beiderseitigen Lage mittelst des Augenmaasses Einfluss gewinnt, und dass in Folge dessen ihre Entfernungen vom Fixationspunkte in der Fläche des Gesichtsfeldes als gleich angesehen werden, trotzdem sie nicht genau gleich sind.

Es folgt weiter, dass, wenn die Gleichheit der Localisation correspondirender Stellen in beiden Gesichtsfeldern nicht auf der Empfindung beruht, auch die ursprüngliche Vergleichung verschiedener Distanzen in jedem einzelnen Gesichtsfelde nicht auf unmittelbarer Empfindung beruhen kann. Denn wäre eine solche gegeben, so müsste nothwendig auch die Uebereinstimmung beider Felder in unmittelbarer Empfindung vollständig gegeben sein, sobald nur die Identität der beiden Fixationspunkte und die Uebereinstimmung von nur einem Meridian mit dem correspondirenden Meridian des anderen Auges festgestellt wäre.

Der Leser sieht, wie wir durch diese Verkettung der Thatsachen in die empiristische Theorie nothwendig hineingetrieben werden. Ich muss dabei erwähnen, dass in neuerer Zeit noch Versuche gemacht worden sind, das Zustandekommen der Tiefenwahrnehmung und die Erscheinungen des binocularen Einfach- und Doppeltsehens durch die Annahme präformirter Mechanismen zu erklären. Diese Versuche, auf deren Kritik ich an dieser

Stelle nicht weiter eingehen kann, weil eine solche uns in zu verwickelte Specialitäten hineinführen würde, sind trotz ihrer zum Theil sehr künstlichen und gleichzeitig sehr unbestimmten und dehnbaren Voraussetzungen bisher immer noch daran gescheitert, dass die wirkliche Welt unendlich viel reichere Verhältnisse darbietet, als jene zu berücksichtigen im Stande waren. So kommt es denn, dass dergleichen Systeme, wenn sie irgend einem bestimmten Falle des Sehens angepasst sind und von diesem eine Erklärung zu geben behaupten, auf alle anderen Fälle nicht passen. Dann muss die sehr bedenkliche Annahme aushelfen, dass in diesen anderen Fällen die Empfindung durch die ihr entgegenstehende Erfahrung ausgelöscht und besiegt werde. Wohin sollte es aber mit unseren Wahrnehmungen kommen, wenn wir Empfindungen unter Umständen, in denen sie sich auf das Object unserer Aufmerksamkeit beziehen, entgegenstehenden Vorstellungen zu liebe auslöschen könnten? Und jedenfalls ist klar, dass in einem jeden solchen Falle, wo die Erfahrung entscheiden muss, die Bildung der richtigen Anschauung unter ihrer Hilfe sehr viel leichter zu Stande kommen wird, wenn keine entgegenstehenden Empfindungen besiegt werden müssen, als wenn das richtige Urtheil gegen deren Einfluss gewonnen werden muss.

Dazu kommt nun, dass diese Hypothesen, welche man in den verschiedenen Formen der nativistischen Theorien nach einander den Erscheinungen anzupassen versucht hat, vollkommen unnöthig sind. Es ist bisher noch keine Thatsache bekannt, welche unvereinbar mit der empiristischen Theorie wäre, in der wir gar keine unnachweisbaren anatomischen Structuren, keine ganz unerhörten Arten physiologischer Thätigkeit der Nervensubstanz anzunehmen brauchen, in der wir nichts voraussetzen, als die durch tägliche Erfahrung ihren wesentlichen Gesetzen nach wohl bekannten Associationen der Anschauungen und Vorstellungen. Es ist wahr, dass eine vollständige Erklärung der psychischen Thätigkeiten noch nicht, und wahrscheinlich auch nicht so bald in der Zukunft zu geben ist. Aber da diese Thätigkeiten factisch bestehen, und bisher noch keine Form der nativistischen Theorien vermeiden konnte, auf ihre Wirksamkeit zurück zu greifen, da, wo andere Erklärungsversuche scheiterten, wird man auch vom Standpunkte des Naturforschers die Geheimnisse des Seelenlebens nicht als Mängel unserer Theorie des Sehens betrachten dürfen.

Es ist nicht möglich, im Gebiete der Raumanschauungen irgendwo eine Grenze zu ziehen, um einen Theil, der der unmittelbaren Empfindung angehöre, von einem anderen Theile zu trennen, der erst durch Erfahrung gewonnen sei. Wo man auch diese Grenze zu ziehen versucht, immer finden sich die Fälle, in denen die Erfahrung sich genauer, unmittelbarer und bestimmter erweist, als die angebliche Empfindung, und in denen sie letztere besiegt. Nur die eine Annahme führt in keine Widersprüche, die der empirischen Theorie, welche alle Raumanschauung als auf Erfahrung beruhend betrachtet, und voraussetzt, dass auch die Localzeichen unserer Gesichtsempfindungen, ebenso wie deren Qualitäten an und für sich, nichts als Zeichen sind, deren Bedeutung wir zu lesen erst lernen müssen.

Aber wir lernen sie lesen, indem wir sie mit dem Erfolge unserer Bewegungen und den Veränderungen, die wir selbst durch diese in der Aussenwelt hervorbringen, vergleichen. Das Kind fängt zuerst an mit seinen Händen zu spielen; es giebt eine Zeit, wo es diese und seine Augen noch nicht nach einem glänzenden oder farbigen Gegenstande, der seine Aufmerksamkeit erregt, hinzuwenden weiss. Später greift es nach Gegenständen, wendet diese immer wieder um und um, besieht, betastet, beleckt sie von allen Seiten. Die einfachsten sind ihm die liebsten; das primitivste Spielzeug macht immer mehr Glück als die raffinirtesten Erfindungen moderner Industrie in diesem Fache. Wenn das Kind dann Wochen lang — jeden Tag eine Weile — ein solches Stück immer wieder betrachtet hat, und es schliesslich in allen seinen perspectivischen Bildern kennt, wirft es dasselbe weg und greift nach anderen Formen. So lernt es gleichzeitig die verschiedenen Gesichtsbilder kennen, die derselbe Gegenstand giebt, in Verbindung mit den Bewegungen, welche seine Händchen dem Object geben können. Die anschauliche Vorstellung von der räumlichen Form eines Gegenstandes, die in solcher Weise gewonnen wird, ist der Inbegriff von allen diesen Gesichtsbildern. Wenn wir ein genaues Anschauungsbild der Form von irgend welchem Objecte gewonnen haben, sind wir im Stande uns daraus durch unsere Einbildungskraft herzuleiten, welchen Anblick das Object uns gewähren wird, wenn wir es von dieser oder jener Seite betrachten, so oder so drehen. Alle diese einzelnen Anschauungsbilder sind zusammenbegriffen in der Vorstellung von der körperlichen Form des Objects, und können aus ihr wieder hergeleitet werden, zugleich mit der Vorstellung

derjenigen Bewegungen, die wir ausführen müssen, um die einzelnen Formen des Anblicks wirklich zu erhalten.

Ein sehr auffallender Beleg dafür hat sich mir oft bei der Betrachtung stereoskopischer Bilder geboten. Wenn man zum Beispiel verwickelte Linienzeichnungen von sehr zusammengesetzten Krystallformen betrachtet, wird es anfangs oft schwer sie zu vereinigen. Dann pflege ich mir zunächst in den Bildern zwei Punkte zu suchen, die zusammengehören, und bringe sie durch willkürliche Bewegung der Augen zur Deckung; aber so lange ich noch nicht verstanden habe, was für eine Art von Form die Bilder vorstellen sollen, fahren meine Augen immer wieder aus einander, und die Deckung hört auf. Nun suche ich mit dem Blick den verschiedenen Linien der Figur zu folgen; plötzlich geht mir das Verständniss der Körperform auf, welche dargestellt ist, und von dem Augenblick ab gleiten meine beiden Gesichtslinien ohne die mindeste Schwierigkeit an den Umrisslinien des scheinbar vorhandenen Körpers hin und her, ohne jemals wieder aus einander zu kommen. So wie die richtige Vorstellung der Körperform aufgetaucht ist, hat man die Regel für die bei der Betrachtung dieses Körpers zusammengehörigen Augenbewegungen gefunden. Indem wir diese Bewegungen ausführen, und die erwarteten Gesichtsbilder erhalten, übersetzen wir unsere Vorstellung gleichsam wieder zurück in das Gebiet der realen Welt, und erproben, ob die Rückübersetzung mit dem Originale zusammenstimmt, um uns so durch das Experiment von der Richtigkeit unserer Vorstellung zu überzeugen.

Ich glaube, dass namentlich dieser letztere Punkt wohl zu berücksichtigen ist. Die Deutung unserer Sinnesempfindungen beruht auf dem Experiment und nicht auf blosser Beobachtung äusseren Geschehens. Das Experiment lehrt uns, dass die Verbindung zwischen zwei Vorgängen in jedem von uns gewählten beliebigen Augenblicke bestehe, unter übrigens von uns beliebig abgeänderten Verhältnissen. Die Zusammengehörigkeit der beiden Vorgänge bewährt sich dadurch unmittelbar als constant in der Zeit, da wir sie in jedem beliebigen Augenblicke prüfen können. Blosse Beobachtung gewährt uns kaum je dieselbe Sicherheit der Kenntniss, trotz noch so häufiger Wiederholung unter vielfach veränderten Umständen. Denn sie lehrt uns wohl, dass die Vorgänge, um deren Zusammengehörigkeit es sich handelt, oft, oder bisher immer, zusammen eingetreten sind, nicht aber, dass sie zu jeder beliebigen von uns gewählten Zeit eintreten.

Selbst wenn wir die Beispiele methodisch vollendeter wissenschaftlicher Beobachtung überblicken, wie sie Astronomie, Meteorologie, Geologie darbieten, so finden wir, dass wir nur dann uns über die Ursachen der betreffenden Erscheinungen sicher fühlen, wenn dieselben Kräfte auch in unseren Laboratorien durch das Experiment nachgewiesen werden können. Wir haben durch die nicht experimentellen Wissenschaften noch keine einzige neue Kraft kennen gelernt. Ich glaube, dass diese Thatsache nicht ohne Bedeutung ist.

Es ist klar, dass wir durch die in der beschriebenen Weise gesammelten Erfahrungen über die Bedeutung der sinnlichen Zeichen alles das lernen können, was sich nachher an der Erfahrung wieder prüfen lässt, also den ganzen wahrhaft reellen Inhalt unserer Anschauungen. Hierbei war bisher vorausgesetzt, dass wir durch den Tastsinn schon eine Anschauung von Raum und Bewegung gewonnen hätten. Zunächst erfahren wir unmittelbar nur, dass wir durch die Willensimpulse Veränderungen hervorbringen, die wir durch den Tastsinn und Gesichtssinn wahrnehmen. Die meisten dieser Aenderungen, die wir willkürlich hervorbringen, sind nur Raumänderungen, d. h. Bewegungen; es können freilich auch andere, Aenderungen an den Dingen selbst, dadurch bewirkt werden. Können wir nun die Bewegungen unserer Hände und Augen als Raumänderungen erkennen, ohne dies vorher zu wissen, und von anderen Aenderungen, welche die Eigenschaften der Dinge betreffen, unterscheiden? Ich glaube, ja! Es ist ein wesentlich unterscheidender Charakter der Raumbeziehungen, dass sie veränderliche Beziehungen zwischen den Substanzen sind, die nicht von deren Qualität und Masse abhängen, während alle anderen reellen Beziehungen zwischen den Dingen von deren Eigenschaften abhängen. Bei den Gesichtswahrnehmungen bewährt sich dies nun unmittelbar und am leichtesten. Eine Augenbewegung, die eine Verschiebung des Netzhautbildes auf der Netzhaut hervorbringt, bringt bei gleicher Wiederholung dieselbe Reihe von Veränderungen hervor, welches auch der Inhalt des Gesichtsfeldes sein mag; sie bewirkt, dass die Eindrücke, welche bisher die Localzeichen a_0, a_1, a_2, a_3 hatten, die neuen Localzeichen b_0, b_1, b_2, b_3 bekommen; und dies kann stets in gleicher Weise geschehen, welches auch die Qualitäten dieser Eindrücke sein mögen. Dadurch sind diese Veränderungen charakterisirt als von der eigenthümlichen Art, welche wir eben Raumveränderungen nennen. Der empirischen Aufgabe ist hiermit

Genüge geleistet, und wir brauchen uns auf die Discussiòn der Frage, wieviel a priori, wieviel a posteriori von der allgemeinen Anschauung des Raumes gegeben sei, hier nicht weiter einzulassen.

Ein Anstoss für die empirische Theorie könnte darin gefunden werden, dass Sinnestäuschungen möglich sind. Denn, wenn wir die Deutung unserer Empfindungen aus der Erfahrung gelernt haben, müsste sie auch immer mit der Erfahrung übereinstimmen. Die Erklärung für die Möglichkeit der Sinnestäuschungen liegt darin, dass wir Vorstellungen von äusseren Dingen, welche bei normaler Beobachtungsweise richtig sein würden, uns auch dann bilden, wenn ungewöhnliche Umstände die Netzhautbilder geändert haben. Was ich hier die normale Beobachtungsweise nenne, erstreckt sich nicht nur darauf, dass die Lichtstrahlen geradlinig von dem leuchtenden Punkte bis an unsere Hornhaut gelangen müssen, sondern schliesst auch ein, dass wir unsere Augen so gebrauchen, wie sie gebraucht werden müssen, um die deutlichsten und am besten unterscheidbaren Bilder zu erhalten. Dazu gehört, dass wir die einzelnen Punkte der Umrisslinien des betrachteten Objects nach einander auf den Centren beider Netzhäute abbilden, und dabei diejenige Art der Augenbewegungen ausführen, welche die sicherste Vergleichung der verschiedenen Augenstellungen zulässt. Jede Abweichung von einer dieser Bedingungen bringt Täuschungen hervor. Am längsten bekannt sind diejenigen Täuschungen, welche eintreten, wenn die Lichtstrahlen vor ihrem Eintritt in das Auge eine Brechung oder Spiegelung erleiden. Aber auch mangelhafte Accommodation beim Sehen durch eine oder zwei feine Oeffnungen, unpassende Convergenz bei einäugigem Sehen, Verschiebung des Augapfels durch Druck mit dem Finger oder Muskellähmung können Irrthümer über die Lage der gesehenen Objecte verursachen. Ferner können Täuschungen dadurch eintreten, dass gewisse Elemente der Empfindung nicht sehr genau unterschieden werden; dazu gehört namentlich der Grad der Convergenz der Augen, den man unsicher beurtheilt, wegen der leicht eintretenden Ermüdung der dazu wirkenden Muskeln. Die einfache Regel für alle diese Täuschungen ist immer: wir glauben stets solche Objecte vor uns zu sehen, wie sie vorhanden sein müssten, um bei normaler Beobachtungsweise dieselben Netzhautbilder hervorzubringen. Sind diese Bilder aber von der Art, dass sie bei keiner normalen Beobachtungsweise entstehen könnten, so urtheilen wir nach der nächstliegenden Aehnlichkeit

mit einer solchen, wobei wir die unsicher wahrgenommenen Elemente der Empfindung leichter vernachlässigen, als die sicher wahrgenommenen. Sind mehrere Deutungen gleich naheliegend, so schwanken wir zwischen diesen meist unwillkürlich hin und her. Aber auch dieses Schwanken kann man beherrschen, wenn man absichtlich die Vorstellung des gewünschten Bildes möglichst anschaulich vor dem inneren Sinne hervorzurufen strebt.

Es sind dies offenbar Vorgänge, die man als falsche Inductionsschlüsse bezeichnen könnte. Freilich sind es aber Schlüsse, bei denen man nicht in bewusster Weise die früheren Beobachtungen ähnlicher Art sich aufzählt und zusammen auf ihre Berechtigung, den Schluss zu begründen, prüft. Ich habe sie deshalb schon früher als unbewusste Schlüsse bezeichnet, und diese Bezeichnungsweise, die auch von anderen Vertheidigern der empiristischen Theorie angenommen worden ist, hat viel Widerspruch und Anstoss erregt, weil nach der gewöhnlich gegebenen psychologischen Darstellungsweise ein Schluss gleichsam der Gipfelpunkt in der Thätigkeit unseres bewussten Geisteslebens ist. Dagegen sind nun in der That die Schlüsse, welche in unseren Sinneswahrnehmungen eine so grosse Rolle spielen, niemals in der gewöhnlichen Form eines logisch analysirten Schlusses auszusprechen, und man muss von den gewöhnlich betretenen Pfaden der psychologischen Analyse etwas seitab gehen, um sich zu überzeugen, dass man es hierbei wirklich mit derselben Art von geistiger Thätigkeit zu thun hat, die in den gewöhnlich so genannten Schlüssen wirksam ist.

Der Unterschied zwischen den Schlüssen der Logiker und den Inductionsschlüssen, deren Resultat in den durch die Sinnesempfindungen gewonnenen Anschauungen der Aussenwelt zu Tage kommt, scheint mir in der That nur ein äusserlicher zu sein, und hauptsächlich darin zu bestehen, dass erstere des Ausdrucks in Worten fähig sind, letztere nicht, weil bei ihnen statt der Worte nur die Empfindungen und Erinnerungsbilder der Empfindungen eintreten. Eben darin, dass diese sich nicht in Worten beschreiben lassen, liegt auch die grosse Schwierigkeit, von diesem ganzen Gebiete der Geistesoperationen überhaupt zu reden.

Neben dem Wissen, welches mit Begriffen arbeitet, und deshalb des Ausdrucks in Worten fähig ist, besteht noch ein anderes Gebiet der Vorstellungsfähigkeit, welches nur sinnliche Eindrücke combinirt, die des unmittelbaren Ausdrucks durch Worte nicht fähig sind. Wir nennen es im Deutschen das Kennen. Wir

kennen einen Menschen, einen Weg, eine Speise, eine riechende Substanz, das heisst, wir haben diese Objecte gesehen, geschmeckt oder gerochen, halten diesen sinnlichen Eindruck im Gedächtniss fest und werden ihn wieder erkennen, wenn er sich wiederholt, ohne dass wir im Stande wären uns oder anderen eine Beschreibung davon in Worten zu geben. Dessen ungeachtet ist es klar, dass dieses Kennen den allerhöchsten Grad von Bestimmtheit und Sicherheit haben kann, und hinter keinem in Worten ausdrückbaren Wissen zurücksteht. Aber es ist nicht direct mittheilbar, wenn nicht das betreffende Object zur Stelle geschafft, oder dessen Eindruck anderweitig nachgeahmt werden kann, wie zum Beispiel für einen Menschen durch sein Portrait.

Eine wichtige Seite des Kennens ist es, die Muskelinnervationen zu kennen, die wir anwenden müssen, um irgend einen Erfolg durch Bewegung unserer Körpertheile zu erreichen. Wir wissen alle, dass wir als Kinder das Gehen lernen müssen; dass wir später lernen auf Stelzen und Schlittschuhen zu gehen, zu reiten, zu schwimmen, zu singen, oder neue Buchstaben fremder Sprachen auszusprechen u. s. w. Wenn man Säuglinge beobachtet, erkennt man, dass sie eine ganze Reihe von Dingen lernen müssen, von denen wir uns später gar nicht mehr vorstellen können, dass wir sie einmal nicht gekonnt haben, zum Beispiel unsere Augen auf das Licht zu richten, was wir sehen möchten. Diese Art des Kennens nennen wir ein Können (im Sinne des französischen savoir) oder auch wohl ein Verstehen (zum Beispiel: ich verstehe zu reiten). Das erstere Wort soll von gleicher Etymologie sein, wie Kennen, und die Verwandtschaft der Form würde sich aus dieser Verwandtschaft der Bedeutung erklären. Freilich brauchen wir jetzt unser Wort „Können“ auch, wo wir bestimmter das Verbum „vermögen“ anwenden würden (französisch pouvoir), wo es sich also um Kraft und Hilfsmittel handelt, nicht nur um die Kenntniss ihrer Anwendung.

Ich bitte auch hier zu beachten, dass diese Kenntniss der anzuwendenden Willensimpulse den allerhöchsten Grad von Sicherheit, Bestimmtheit und Genauigkeit erreichen muss, ehe wir ein so künstliches Gleichgewicht erhalten können, wie beim Stelzengehen oder Schlittschuhlaufen, oder ehe der Sänger mit der Stimme, der Violinspieler mit dem aufgesetzten Finger einen Ton zu treffen weiss, dessen Schwingungsdauer nicht um ein halbes Prozent variiren darf.

Es ist ferner klar, dass man mit dergleichen sinnlichen Erinnerungsbildern statt der Worte dieselbe Art der Verbindung herstellen kann, die man, wenn sie in Worten ausgedrückt wäre, einen Satz oder ein Urtheil nennen würde. Ich kann zum Beispiel wissen, dass ein Mann, dessen Gesicht ich kenne, eine eigenthümliche Stimme hat, deren Klang mir in lebhafter Erinnerung ist. Ich würde Gesicht und Stimme aus tausend anderen sicher herauserkennen und bei jedem von beiden wissen, dass das andere dazu gehört. Aber in Worte fassen kann ich diesen Satz nicht, wenn ich von dem Manne nicht noch andere begrifflich zu definirende Merkmale angeben kann. Dann kann ich mir mit einem Demonstrativum helfen und sagen: diese Stimme, die wir jetzt hören, gehört dem Manne, den wir dort und damals gesehen haben.

Aber es sind nicht bloss singuläre, es sind auch allgemeine Sätze, in denen Worte durch sinnliche Eindrücke vertreten sein können. Ich brauche nur an die Wirkungen der künstlerischen Darstellung zu erinnern. Eine Götterstatue würde mir nicht den Eindruck eines bestimmten Charakters, Temperaments, einer bestimmten Stimmung machen können, wenn ich nicht wüsste, dass die Art der Gesichtsbildung und des Mienenspiels, welche sie zeigt, in den meisten oder in allen Fällen, wo sie vorkommt, jene Bedeutung hat. Und um im Gebiete der Sinneswahrnehmungen zu bleiben, wenn ich weiss, dass eine bestimmte Art zu blicken, für welche ich die Art der anzuwendenden Innervation sehr wohl und bestimmt kenne, nöthig ist, um einen zwei Fuss entfernten, und so und so weit nach rechts gelegenen Punkt zu fixiren, so ist auch dies ein allgemeiner Satz, der für alle Fälle gilt, in denen ich einen so gelegenen Punkt fixirt habe und fixiren werde. Dieser in Worten nicht ausdrückbare Satz ist das Resultat, in dem ich meine bisherige einschlägige Erfahrung aufbewahrt habe. Er kann jeden Augenblick zum Major eines Schlusses werden, so wie der Fall eintritt, dass ich einen Punkt in der betreffenden Lage fixire und fühle, dass ich so blicke, wie es jener Major aussagt. Letztere Wahrnehmung ist mein Minor, und die Conclusio ist, dass an der betreffenden Stelle sich das gesehene Object befinde.

Gesetzt nun, ich blickte auf die besagte Art aber in Stereoskop. Jetzt weiss ich, dass ich vor mir an der bet den Stelle kein wirkliches Object habe. Aber ich habe denselben sinnlichen Eindruck, als ob dort ein solches und diesen Eindruck kann ich weder mir selbst noch An anders bezeichnen und charakterisiren, als dadurch, dass

Eindruck ist, der bei normaler Beobachtungsweise entstehen würde, wenn dort ein Object wäre. Dies müssen wir wohl bemerken. Der Physiolog kann freilich den Eindruck noch anders beschreiben, nach der Stellung der Augen, der Lage der Netzhautbilder u. s. w. Aber unmittelbar kann die Empfindung, die wir haben, nicht anders bestimmt und charakterisirt werden. So wird sie also von uns als täuschende Empfindung anerkannt, und doch können wir die Empfindung dieser Täuschung nicht fortschaffen. Wir können die Erinnerung an ihre normale Bedeutung nicht vertilgen, selbst wenn wir wissen, dass diese in dem vorliegenden Falle nicht zutrifft; ebenso wenig, als wir die Bedeutung eines Wortes unserer Muttersprache uns aus dem Sinne schlagen können, wenn es einmal als Zeichen oder Stichwort zu einem ganz anderen Zwecke angewendet wird.

Dass diese Schlüsse im Gebiete der Sinneswahrnehmungen uns so zwingend entgegentreten, wie eine äussere Naturgewalt, und dass ihre Resultate uns deshalb durch unmittelbare Wahrnehmung gegeben zu sein scheinen ohne alle Selbstthätigkeit von unserer Seite, unterscheidet sie ebenfalls nicht von den logischen und bewussten Schlüssen, wenigstens nicht von denen, die diesen Namen wirklich verdienen. Was wir mit Willkür und Bewusstsein thun können, um einen Schluss zu Stande zu bringen, ist doch nur, dass wir das Material für seine Vordersätze vollständig herbeischaffen. Sobald dieses Material wirklich vollständig da ist, drängt sich uns der Schluss unabweislich auf. Die Schlüsse, welche man nach Belieben ziehen oder nicht ziehen zu können glaubt, sind überhaupt nicht viel werth.

Wir werden, wie man sieht, durch diese Untersuchungen zu einem Gebiet von psychischen Thätigkeiten geführt, von denen bisher in wissenschaftlichen Untersuchungen wenig die Rede gewesen ist, weil es schwer hält, überhaupt von ihnen in Worten zu reden. Am meisten sind sie noch in der Aesthetik berücksichtigt worden, wo sie als „Anschaulichkeit", „unbewusste Vernunftmässigkeit", „sinnliche Verständlichkeit" und ähnlichen halbdunkeln Bezeichnungen eine grosse Rolle spielen. Es steht ihnen das sehr falsche Vorurtheil entgegen, dass sie unklar, unbestimmt, nur halbbewusst vor sich gehen, dass sie als eine Art rein mechanischer Operationen dem bewussten und durch die Sprache ausdrückbaren Denken untergeordnet sind. Ich glaube nicht, dass in der Art der Thätigkeit selbst ein Unterschied zwischen den ersteren und den letzteren nachgewiesen werden kann. Die un-

geheure Ueberlegenheit des bis zur Anwendung der Sprache gereiften Erkennens erklärt sich hinlänglich schon dadurch, dass die Sprache einerseits es möglich macht, die Erfahrungen von Millionen von Individuen und Tausenden von Generationen zu sammeln, fest aufzubewahren und durch fortgesetzte Prüfung allmälig immer sicherer und allgemeiner zu machen. Andererseits beruht auch die Möglichkeit überlegten gemeinsamen Handelns der Menschen, und damit der grösste Theil ihrer Macht, auf der Sprache. In beiden Beziehungen kann das Kennen nicht mit dem Wissen rivalisiren; doch folgt daraus nicht nothwendig eine geringere Klarheit oder eine andere Natur des Kennens.

Die Anhänger der nativistischen Theorien pflegen sich auf die Fähigkeiten der neugeborenen Thiere zu berufen, von denen sich viele ja weit geschickter zeigen, als das menschliche Kind. Dieses lernt offenbar, trotz seiner überlegenen Gehirnmasse und geistigen Entwickelungsfähigkeit, äusserst langsam die einfachsten Aufgaben, zum Beispiel seine Augen nach einem Objecte hinwenden, mit den Händen etwas Gesehenes greifen. Soll man daraus nicht schliessen, dass das menschliche Kind viel mehr zu lernen hat, als das von Instincten zwar richtig geleitete, aber auch gefesselte Thier? Man sagt vom Kalbe, dass es das Euter sehe und darauf zugehe; ob es dasselbe nicht bloss riecht, und die Bewegungen fortsetzt, die es diesem Geruch näher bringen, wäre erst noch zu prüfen. Das menschliche Kind weiss jedenfalls von einem solchen Gesichtsbilde nichts; es dreht sich oft genug hartnäckig von der Brust weg nach der falschen Seite, und sucht dort nach derselben.

Je beschränkter die Geistesfähigkeiten der Thiere im erwachsenen Zustande sind, desto sicherer führt sie im Allgemeinen ihr Instinct gleich von Anfang an. Neuere Beobachtungen[1]) lehren, dass junge, im Brütofen ausgebrütete Hühnchen, deren Kopf gleich nach dem Auskriechen mit einer dunklen Kappe bedeckt wurde, wenn sie am dritten Tage, wo sie kräftig genug zu Bewegungen geworden waren, eine Henne glucken hörten, dieser geraden Weges zuliefen. Behielten sie ihre Kappe dabei auf, so stiessen sie sich an Hindernisse, nahm man sie ihnen ab, so vermieden sie diese. Auch picken sie von Anfang an geschickt und ohne zu fehlen nach kleinen Objecten, die am Boden liegen, müssen aber erst lernen, was sie aufzupicken, und was zu vermeiden haben.

[1]) Mr. Spalding und Lady Amberly nach Tyndall's Angabe (Address to the Brit. Assoc. 1874).

denn anfangs picken sie auch nach ihrem eigenen Unrath. Dabei ist freilich zu bedenken, dass sie schon vorher in der Eischaale gepickt und vielleicht dabei auch gesehen haben; die genannten Erfahrungen bei dem ersten Laufe sind deshalb beweisender. Vorläufig wissen wir für solche Thatsachen keine andere Erklärung zu geben, als dass Gemüthsaffecte, die sich bei den Eltern und Voreltern an gewisse zusammengesetzte Gesichtsbilder geknüpft haben, auf die Nachkommen übergegangen sind und auch diese veranlassen solchen Gesichtsbildern, die Lust verkünden, zuzustreben, solchen dagegen, die Gefahr verkünden, auszuweichen. Uebrigens zeigen die bisher vorliegenden Beobachtungen, dass eine Menge unerwarteter und interessanter Verhältnisse bei den thierischen Instincten vorkommen, welche sorgfältigstes Studium namentlich mit Bezug auf die hier besprochene Frage verdienen. Wie ein Kind, welches gelernt hat aus der Saugflasche zu trinken, nachher nicht mehr die Brust nehmen will, so scheuen junge Enten, die in der Küche aufgewachsen sind, das Wasser, so schliesst sich ein Hühnchen, das vor dem fünften Tage keine Henne gefunden hat, einem Menschen an, der es pflegt, und folgt dann nicht mehr der Henne. Das scheint zu zeigen, dass den erfahrenen Thatsachen gegenüber die Triebe, welche anfangs wirken, so lange das Gedächtniss eine tabula rasa ist, schnell ihren Einfluss verlieren. Ehe diese Verhältnisse sorgfältig und ausgiebig studirt sind, halte ich es für verfrüht, eine Theorie der Instincte aufzustellen; jedenfalls unterscheidet sich der Mensch gerade darin von den Thieren, dass diese angeborenen Triebe bei ihm auf das geringste mögliche Maass zurückgeführt sind.

Wir haben übrigens für dieses ganze Gebiet von Vorgängen die auffallendste Analogie an einem anderen willkürlich gewählten, nicht natürlich gegebenen Systeme von Zeichen, welches wir nachweisbar zu verstehen erst lernen müssen, nämlich an den Worten unserer Muttersprache.

Das erste Erlernen der Muttersprache ist offenbar ein viel schwierigeres Geschäft, als jedes spätere Erlernen einer fremden Sprache. Es muss überhaupt erst errathen werden, dass diese Laute Zeichen sein sollen, und gleichzeitig muss die Bedeutung jedes einzelnen durch dieselbe Art von Induction gefunden werden, wie die der Sinnesempfindungen. Und doch sehen wir Kinder am Ende des ersten Jahres schon einzelne Worte und Sätze verstehen, wenn sie sie auch noch nicht nachsprechen. Ja, Hunde leisten gelegentlich dasselbe.

Andererseits wird auch diese nachweislich erst erlernte Verbindung zwischen dem Namen und dem Gegenstande, dem er angehört, ebenso fest und unausweichlich, wie die der Empfindungen und Objecte.

Wir können nicht umhin, an die normale Bedeutung eines Wortes zu denken, auch wenn es einmal ausnahmsweise zu einem anderen Zwecke anders gebraucht wird. Wir können uns der Gemüthsbewegung, die eine erdichtete Geschichte hervorruft, nicht entziehen, selbst wenn wir wissen, dass sie erdichtet ist; ebenso wie wir die normale Bedeutung der Empfindungen in einem Falle von Sinnestäuschung, die wir als solche erkennen, uns nicht aus dem Sinne schlagen können.

Endlich ist noch ein dritter Vergleichungspunkt bemerkenswerth. Die elementaren Zeichen unserer Sprache sind nur 24 Buchstaben, und wie ausserordentlich mannigfaltigen Sinn können wir durch deren Combinationen ausdrücken und einander mittheilen! Nun bedenke man im Vergleich damit den ungeheuren Reichthum der elementaren Zeichen, die der Sehnervenapparat geben kann. Man kann die Zahl der Sehnervenfasern auf 250,000 schätzen. Jede derselben ist unzählig vieler verschiedener Grade der Empfindung von einer oder drei verschiedenen Grundfarben fähig. Dadurch ist natürlich ein unendlich viel reicheres System von Combinationen herzustellen, als mit den wenigen Buchstaben, wozu dann noch die Möglichkeit schnellsten Wechsels in den Bildern des Gesichtes kommt. So dürfen wir uns nicht wundern, wenn die Sprache unserer Sinne uns so ausserordentlich viel feiner abgestufte und reicher individualisirte Nachrichten zuführt, als die der Worte.

Dies ist die Lösung des Räthsels von der Möglichkeit des Sehens, und zwar die einzige, welche die zur Zeit bekannten Thatsachen, so viel ich einsehe, zu geben erlauben. Gerade die auffallenden und groben Incongruenzen zwischen den Empfindungen und Objecten, sowohl in Bezug auf die Qualität, wie auf die Localisation, sind äusserst lehrreich, weil sie uns auf den richtigen Weg hindrängen. Und selbst diejenigen Physiologen, welche noch Stücke der prästabilirten Harmonie zwischen Empfindungen und Objecten zu retten suchen, müssen eingestehen, dass die eigentliche Vollendung und Verfeinerung der sinnlichen Anschauung auf der Erfahrung beruht, so sehr, dass diese es sein müsste, welche

endgültig entscheidet, wo sie etwa den hypothetischen angeborenen Anpassungen des Organs widerspräche. Dadurch wird die Bedeutung, welche solchen Anpassungen etwa noch zuerkannt werden kann, darauf beschränkt, dass sie vielleicht die erste Einübung der Anschauungen zu unterstützen im Stande sind.

Die Uebereinstimmung zwischen den Gesichtswahrnehmungen und der Aussenwelt beruht also ganz oder wenigstens der Hauptsache nach auf demselben Grunde, auf dem alle unsere Kenntniss der wirklichen Welt beruht, nämlich auf der Erfahrung und der fortdauernden Prüfung ihrer Richtigkeit mittelst des Experiments, wie wir es bei jeder Bewegung unseres Körpers vollziehen. Natürlich sind wir jener Uebereinstimmung nur in so weit versichert, als dieses Mittel der Prüfung reicht; es reicht aber gerade so weit, als wir ihrer für praktische Zwecke bedürfen. Jenseits dieser Grenzen, zum Beispiel im Gebiete der Qualitäten, können wir zum Theil die Nichtübereinstimmung bestimmt nachweisen. Nur die Beziehungen der Zeit, des Raumes, der Gleichheit, und die davon abgeleiteten Beziehungen der Zahl, der Grösse, der Gesetzlichkeit, kurz das Mathematische, sind der äusseren und inneren Welt gemeinsam, und in diesen kann in der That eine volle Uebereinstimmung der Vorstellungen mit den abgebildeten Dingen erstrebt werden. Aber ich denke, wir wollen der gütigen Natur darum nicht zürnen, dass sie uns die Grösse und Leerheit dieser Abstracta durch den bunten Glanz einer mannigfaltigen Zeichenschrift zwar verdeckt, dadurch aber auch um so schneller übersichtlich und für praktische Zwecke verwendbar gemacht hat, während für die Interessen des theoretischen Geistes Spuren genug sichtbar bleiben, um ihn bei der Untersuchung, was Zeichen und was Bild sei, richtig zu führen.

Ueber das Ziel und die Fortschritte der Naturwissenschaft

Eröffnungsrede
für die Naturforscherversammlung zu Innsbruck
1869

Hochgeehrte Versammlung!

Indem ich der ehrenvollen Aufforderung, die an mich ergangen ist, Folge leiste und auf diesen Platz trete, um den ersten wissenschaftlichen Vortrag in der ersten öffentlichen Sitzung der diesjährigen Naturforscherversammlung zu halten, erscheint es mir der Bedeutung dieses Augenblicks und der Würde dieser Versammlung angemessen, statt auf einen einzelnen Gegenstand meiner eigenen Studien einzugehen, Sie vielmehr aufzufordern, einen Blick auf die Entwickelung des ganzen Kreises von Wissenschaften zu werfen, der hier vertreten ist. Dieser Kreis umfasst ein ungeheures Gebiet von Specialstudien, ein Material von kaum zu umfassender Mannigfaltigkeit, dessen äussere Ausdehnung und innerer Reichthum jährlich wächst, und für dessen Wachsen noch gar keine Grenze abzusehen ist. In der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts haben wir noch einen Alexander von Humboldt gehabt, der die damaligen naturwissenschaftlichen Kenntnisse bis in ihre Specialitäten hinein zu überschauen und in einen grossen Zusammenhang zu bringen vermochte. In der gegenwärtigen Lage möchte es wohl sehr zweifelhaft erscheinen, ob dieselbe Aufgabe selbst einem Geiste von so besonders dafür geeigneter Begabung, wie sie Humboldt besass, in derselben Weise lösbar sein würde, auch wenn er alle seine Zeit und seine Arbeit auf diesen Zweck verwenden wollte.

Wir alle aber, die wir an dem weiteren Ausbau einzelner Zweige der Wissenschaft arbeiten, können unsere Zeit nur zu einem sehr kleinen Theile auf das gleichzeitige Studium anderer Gebiete derselben verwenden. Wir müssen, sobald wir irgend eine einzelne Untersuchung vornehmen, alle unsere Kräfte auf ein eng begrenztes Feld concentriren. Wir haben nicht nur, wie der Philo-

loge oder Historiker, Bücher herbeizuschaffen und durchzusehen, Notizen zu sammeln von dem, was Andere schon über denselben Gegenstand gefunden haben; das ist im Gegentheil nur ein untergeordneter Theil unserer Arbeit. Wir müssen die Dinge selbst angreifen, und jedes von ihnen bietet seine neuen und eigenthümlichen Schwierigkeiten von ganz anderer Art, als der Büchergelehrte sie kennt. Und was am meisten Zeit und Arbeit kostet, sind in der Mehrzahl der Fälle Nebendinge, die nur in entfernter Verbindung mit dem Ziele der Untersuchung stehen.

Bald müssen wir uns darauf werfen, Fehler der Instrumente zu studiren, sie zu beseitigen oder, wo sie sich nicht beseitigen lassen, ihren nachtheiligen Einfluss zu umgehen. Ein anderes Mal müssen wir Zeit und Gelegenheit abpassen, um einen Organismus in dem Zustande zu finden, wie wir ihn zur Untersuchung brauchen. Dann wiederum lernen wir erst während der Untersuchung mögliche Fehler derselben kennen, welche das Ergebniss geschädigt haben oder auch vielleicht nur im Verdacht stehen könnten, es geschädigt zu haben, und sehen uns genöthigt, unsere Arbeit immer wieder von vorne zu beginnen, bis jeder Schatten eines Verdachtes beseitigt ist. Und nur wenn der Beobachter sich so in einen Gegenstand gleichsam verbeisst, so alle seine Gedanken und all sein Interesse darauf heftet, dass er Wochen lang, Monate lang, oder wohl Jahre lang nicht davon loslassen kann, und nicht eher loslässt, als bis er alle Einzelheiten beherrscht und bis er sich aller derjenigen Ergebnisse sicher fühlt, welche zur Zeit zu gewinnen sind, nur dann entsteht eine tüchtige und werthvolle Arbeit. Jeder von Ihnen wird wissen, wie unverhältnissmässig viel mehr Zeit mit den Vorbereitungen, mit den Nebenarbeiten, mit der Controle möglicher Fehler und namentlich mit der Abgrenzung der zur Zeit erreichbaren Ergebnisse von dem Unerreichbaren bei einer guten Untersuchung hingeht, als schliesslich dazu nöthig ist, die eigentlich endgültigen Beobachtungen oder Versuche durchzumachen; wie viel mehr Scharfsinn und Nachdenken oft aufgeboten werden muss, um ein ungehorsames Stück Messing oder Glas gefügig zu machen, als um den Plan der ganzen Untersuchung zu entwerfen. Jeder von Ihnen wird diese ungeduldige Erhitzung in der Arbeit kennen, wo alle Gedanken in einen engen Kreis von Fragen hineingebannt sind, deren Bedeutung dem Draussenstehenden als höchst gering und verächtlich erscheint, weil er das Ziel nicht kennt, zu dem die augenblickliche Arbeit nur die Pforte öffnen soll. Ich glaube nicht zu irren, wenn

ich in dieser Weise die Arbeit und den geistigen Zustand beschreibe, aus denen alle grossen Resultate hervorgegangen sind, welche die Entwickelung unserer Wissenschaften nach so langem Harren so schnell gezeitigt, und ihr einen so mächtigen Einfluss auf alle Seiten des menschlichen Lebens eröffnet haben.

Die Zeit des Arbeitens ist also jedenfalls keine Zeit grosser umfassender Umblicke. Freilich wenn der Sieg über die Schwierigkeiten glücklich errungen und die Ergebnisse sichergestellt sind, dann tritt der Natur der Sache nach ein Ausruhen ein, und das nächste Interesse ist nun darauf gerichtet, die Tragweite der neu festgestellten Thatsachen zu überblicken, und einmal wieder einen grösseren Ausblick auf die benachbarten Gebiete zu wagen. Auch dies ist nothwendig. und nur derjenige, der zu einem solchen Ausblick befähigt ist, kann hoffen, fruchtbare Angriffspunkte auch für fernere Arbeiten zu finden.

Der früheren Arbeit folgen dann spätere, die andere Gegenstände behandeln. Aber auch in der Reihenfolge seiner verschiedenen Arbeiten wird sich der einzelne Forscher nicht weit von einer mehr oder weniger eng begrenzten Richtung entfernen dürfen. Denn es kommt für ihn nicht nur darauf an, dass er aus Büchern Kenntnisse über die zu bearbeitenden Felder gesammelt habe. Das menschliche Gedächtniss ist am Ende noch verhältnissmässig geduldig und kann eine fast unglaublich grosse Masse von Gelehrsamkeit in sich aufspeichern. Aber der Naturforscher braucht ausser dem Wissen, das ihm Vorlesungen und Bücher zufliessen lassen, auch noch Kenntnisse, die nur eine reiche und aufmerksame sinnliche Anschauung geben kann; er braucht Fertigkeiten, welche nur durch oft wiederholte Versuche und durch lange Uebung zu gewinnen sind. Seine Sinne müssen geschärft sein für gewisse Arten der Beobachtung, für leise Verschiedenheiten der Form, der Farbe, der Festigkeit, des Geruchs u. s. w. der untersuchten Objecte; seine Hand muss geübt sein, bald die Arbeit des Schmiedes, des Schlossers und Tischlers, bald die des Zeichners oder Violinspielers auszuführen. bald, wenn er unter dem Mikroskop anatomirt. die Spitzenarbeiterin in Genauigkeit der Führung einer Nadel zu übertreffen. Dann wiederum muss er den Muth und die Kaltblütigkeit des Soldaten haben, wenn er übermächtigen zerstörenden Gewalten gegenübersteht, oder blutige Operationen, bald an Menschen. bald an Thieren auszuführen hat. Solche, theils in ursprünglicher Anlage schon empfangene, theils durch langjährige Uebung erworbene oder verfeinerte Eigenschafte-

und Fähigkeiten sind nicht so schnell oder so massenhaft zu erwerben, wie es allenfalls möglich wäre, wo es sich nur um Schätze des Gedächtnisses handelt; und eben darum sieht sich der einzelne Forscher auch für die Reihe der Arbeiten seines ganzen Lebens gezwungen, sein Feld passend zu begrenzen und auf demjenigen Umkreis zu bleiben, welcher seinen Fähigkeiten entsprechend ist.

Wir können aber nicht verkennen, dass, je mehr der Einzelne gezwungen ist, das Feld seiner Arbeit zu verengern, desto mehr das geistige Bedürfniss sich ihm fühlbar machen muss, den Zusammenhang mit dem Ganzen nicht zu verlieren. Wo soll er die Kraft und die Freudigkeit für seine mühsame Arbeit hernehmen, wo die Zuversicht, dass das, woran er sich gemüht, nicht ungenützt vermodern, sondern einen dauernden Werth behalten werde, wenn er sich nicht die Ueberzeugung wach erhält, dass auch er einen Baustein geliefert hat zu dem grossen Ganzen der Wissenschaft, welche die vernunftlosen Mächte der Natur den sittlichen Zwecken der Menschheit dienstbar unterwerfen soll?

Auf einen unmittelbaren praktischen Nutzen ist freilich bei den einzelnen Untersuchungen gewöhnlich im Voraus nicht zu rechnen. Zwar haben die Naturwissenschaften das ganze Leben der modernen Menschheit durch die praktische Verwerthung ihrer Ergebnisse umgestaltet. Aber in der Regel kommen diese Anwendungen bei Gelegenheiten zum Vorschein, wo man es am wenigsten vermuthet hatte; ihnen nachzujagen führt gewöhnlich nicht zu irgend einem Ziele, wenn man nicht schon ganz sichere nahe Anhaltspunkte dafür hat, so dass es sich nur noch um Beseitigung einzelner Hindernisse für die Ausführung handelt. Sieht man die Geschichte der wichtigsten Erfindungen durch, so sind sie entweder, namentlich in älterer Zeit, von Handwerkern und Arbeitern gemacht, die ihr ganzes Leben hindurch nur eine Arbeit trieben, und bald durch günstigen Zufall, bald durch hundertfältig wiederholte tastende Versuche einen neuen Vortheil in ihrem Geschäftsbetriebe fanden; oder sie sind — und zwar ist dies bei den neueren Erfindungen meist der Fall — Früchte der ausgebildeten wissenschaftlichen Kenntniss des betreffenden Gegenstandes, welche Kenntniss zunächst immer ohne directe Aussicht auf möglichen Nutzen nur um der wissenschaftlichen Vollständigkeit der Gesammterkenntniss willen gewonnen worden war.

Gerade die Naturforscherversammlung vertritt nun die Gesammtheit unserer Wissenschaften. Hier findet sich heute der

Mathematiker, Physiker, Chemiker mit dem Zoologen, Botaniker und Geologen zusammen, der Lehrer der Wissenschaft mit dem Arzte, dem Techniker und mit dem Dilettanten, der naturwissenschaftliche Arbeiten als Erholung von anderen Beschäftigungen treibt. Hier hofft Jeder wieder Anregung und Ermuthigung für seine Specialarbeiten zu finden; er hofft die Anerkennung zu erlangen, dass seine Arbeiten zu dem Ausbau des grossen Ganzen mit beigetragen haben, die ihm, wenn er Einwohner eines kleineren Ortes ist, anders kaum zu Theil wird; er hofft im Gespräche mit näher und ferner stehenden Fachgenossen sich die Ziele neuer Untersuchungen feststellen zu können. Hier sehen wir zu unserer Freude auch eine grosse Anzahl von Theilnehmern aus den gebildeten Kreisen der Nation, wir sehen einflussreiche Staatsmänner unter uns. Sie alle sind bei unseren Arbeiten betheiligt; sie erwarten von uns weiteren Fortschritt in der Civilisation, fernere Siege über die Naturkräfte. Sie sind es, die uns die äusseren Hilfsmittel für unsere Arbeiten zu Gebote stellen müssen, und deshalb auch nach den Ergebnissen dieser Arbeiten zu fragen berechtigt sind. Hier und an dieser Stelle scheint es mir deshalb vorzugsweise wünschenswerth, dass Rechenschaft gegeben werde über die Fortschritte des grossen Ganzen der Naturwissenschaften, über die Ziele, denen es nachstrebt, über die Grösse der Schritte, um die es sich diesen Zielen genähert hat.

Eine solche Rechenschaft ist wünschenswerth; dass ein Einzelner kaum im Stande sein wird, diese Aufgabe auch nur annähernd vollständig zu lösen, liegt in dem begründet, was ich vorausgeschickt habe. Dass ich selbst heute hier stehe, mit einer solchen Aufgabe betraut, mag hauptsächlich dadurch entschuldigt werden, dass kein Anderer sich daran wagen wollte, und ich meinte, ein halb misslungener Versuch, ihr gerecht zu werden, sei immerhin noch besser als gar keiner. Ausserdem hat ein Physiologe vielleicht am meisten unmittelbare Veranlassung, sich einen gewissen Ausblick auf das Ganze fortdauernd klar zu halten. Denn in der jetzigen Lage der Dinge ist gerade die Physiologie besonders darauf angewiesen, von allen anderen Zweigen der Naturwissenschaft Hilfe zu empfangen und mit ihnen in Zusammenhang zu bleiben. Gerade in der Physiologie hat sich die Wichtigkeit der grossen Fortschritte, von denen ich reden will, am fühlbarsten gemacht, und durch die principiellen Streitfragen der Physiologie sind einige der hervortretendsten dieser Fortschritte geradezu veranlasst worden.

Wenn ich erhebliche Lücken lasse, so bitte ich diese theils mit der Grösse der Aufgabe, theils damit zu entschuldigen, dass die dringende Aufforderung der verehrten Geschäftsführer dieser Versammlung an mich sehr spät und während einer Sommerfrische im Gebirge kam. Und was ich an Lücken lasse, werden die Sectionsverhandlungen jedenfalls reichlich ergänzen.

Machen wir uns denn an unsere Aufgabe! Die erste Frage, die uns entgegentritt, wenn wir vom Fortschritt der gesammten Naturwissenschaft reden wollen, wird sein: Nach welchem Maassstab sollen wir einen solchen Fortschritt beurtheilen?

Dem Uneingeweihten ist diese Wissenschaft eine Zusammenhäufung einer unübersehbaren und verwirrenden Menge von Einzelheiten, unter denen sich einige durch praktische Nützlichkeit hervorheben, andere als Curiosa, als Gegenstände des Erstaunens. Aber in diesem Zustande unzusammenhängender Einzelheiten, selbst, wenn es etwa durch eine systematische Ordnung, wie in dem Linné'schen Pflanzensystem oder in lexikalischen Encyclopädien, leicht gemacht wäre, eine jede derselben schnell nach Bedürfniss wiederzufinden, würde solches Wissen nicht den Namen der Wissenschaft verdienen, und weder dem wissenschaftlichen Bedürfnisse des menschlichen Geistes, noch dem Verlangen nach fortschreitender Herrschaft des Menschen über die Naturmächte Genüge thun. Denn das erstere fordert geistig fassbaren Zusammenhang der Kenntnisse; das zweite fordert die Voraussicht des Erfolges in noch unbekannten Fällen und unter Bedingungen, die wir durch unsere Handlungen erst herbeizuführen beabsichtigen. Beides ist offenbar erst durch die Kenntniss des Gesetzes der Erscheinungen zu erreichen.

Nicht die einzelnen beobachteten Thatsachen und Versuche an sich haben Werth; und wenn ihre Zahl noch so unermesslich wäre. Erst dadurch erhalten sie Werth, theoretischen wie praktischen, dass sie uns das Gesetz einer Reihe gleichartig wiederkehrender Erscheinungen erkennen lassen, oder vielleicht auch nur negativ erkennen lassen, dass eine bisher als vollständig betrachtete Kenntniss eines solchen Gesetzes unvollständig war. Bei der strengen und allverbreiteten Gesetzlichkeit der Naturerscheinungen genügt freilich unter Umständen schon eine einzige Beobachtung eines Verhältnisses, das wir als streng gesetzmässig voraussetzen dürfen, um darauf mit höchstem Grade von Wahrscheinlichkeit eine Regel zu begründen; wie wir zum Beispiel die Kenntniss des Skeletts eines urweltlichen Thieres als vollständig voraussetzen.

wenn wir auch nur ein vollständiges Skelett eines einzelnen Individuums gefunden haben. Aber wir müssen uns nur besinnen, dass auch hier die einzelne Beobachtung nicht als einzelne ihren Werth hat, sondern weil sie zur Kenntniss der gesetzlichen Regelmässigkeit im Körperbau einer ganzen Species von Organismen verhilft. Und ebenso ist die Kenntniss der specifischen Wärme von einem einzigen kleinen Stückchen eines neuen Metalls wichtig, weil wir nicht zu zweifeln brauchen, dass alle anderen ebenso behandelten Stücke desselben Metalls sich ebenso verhalten werden.

Das Gesetz der Erscheinungen finden, heisst sie begreifen. In der That ist das Gesetz der allgemeine Begriff, unter den sich eine Reihe von gleichartig ablaufenden Naturvorgängen zusammenfassen lassen. Wie wir in dem Begriff „Säugethier" alles zusammenfassen, was dem Menschen, dem Affen, dem Hunde, dem Löwen, dem Hasen, dem Pferde, dem Walfische u. s. w. gemeinsam ist, so fassen wir im Brechungsgesetz zusammen, was wir regelmässig wiederkehrend finden, wenn irgend ein Lichtstrahl von irgend einer Farbe in irgend einer Richtung durch die gemeinsame Grenzfläche irgend zweier durchsichtiger Medien dringt.

Ein Naturgesetz ist aber nicht bloss ein logischer Begriff, den wir uns zurecht gemacht haben als eine Art mnemotechnischen Hilfsmittels, um die Thatsachen besser zu behalten. Auch sind wir modernen Menschen jetzt so weit in der Einsicht vorgeschritten, um zu begreifen, dass die Naturgesetze nicht etwas sind, was wir uns auf speculativem Wege vielleicht ausdenken könnten. Wir müssen sie vielmehr in den Thatsachen entdecken; wir müssen sie in immer wiederholten Beobachtungen oder Versuchen, an immer neuen Einzelfällen, unter immer wieder veränderten Umständen prüfen, und nur in dem Maasse, als sie unter einem immer grösseren Wechsel der Bedingungen und in einer immer grösseren Zahl von Fällen und bei immer genaueren Beobachtungsmitteln ausnahmslos sich bewähren, steigt unser Vertrauen in ihre Zuverlässigkeit.

So treten uns die Naturgesetze gegenüber als eine fremde Macht, nicht willkürlich zu wählen und zu bestimmen in unserem Denken, wie man etwa verschiedene Systeme der Thiere und Pflanzen hinter einander aufstellen konnte, so lange man bloss den mnemotechnischen Zweck verfolgte, ihre Namen gut zu behalten. Wo wir ein Naturgesetz vollständig kennen, müssen wir auch Ausnahmslosigkeit seiner Geltung fordern und diese zum Kennzeichen seiner Richtigkeit machen. Wenn wir uns vergewissern

können, dass die Bedingungen eingetreten sind, unter denen das Gesetz zu wirken hat, so müssen wir auch den Erfolg eintreten sehen ohne Willkür, ohne Wahl, ohne unser Zuthun, mit einer die Dinge der Aussenwelt ebenso gut, wie unser Wahrnehmen, zwingenden Nothwendigkeit. So tritt uns das Gesetz als eine objective Macht entgegen, und demgemäss nennen wir es Kraft.

Wir objectiviren zum Beispiel das Gesetz der Lichtbrechung als eine Lichtbrechungskraft der durchsichtigen Substanzen, das Gesetz der chemischen Wahlverwandtschaften als eine Verwandtschaftskraft der verschiedenen Stoffe zu einander. So sprechen wir von einer elektrischen Contactkraft der Metalle, von einer Adhäsionskraft, Capillarkraft und anderen mehr. In diesen Namen sind Gesetze objectivirt, welche zunächst erst kleinere Reihen von Naturvorgängen umfassen, deren Bedingungen noch ziemlich verwickelt sind. Mit solchen musste die Begriffsbildung in den Naturwissenschaften anfangen, bis man von einer Anzahl wohlbekannter speciellerer Gesetze zu allgemeineren fortschreiten konnte. Man musste hierbei namentlich die Zufälligkeiten der Form und der räumlichen Vertheilung, welche die mitwirkenden Massen darbieten konnten, zu beseitigen suchen, indem man aus den an grossen sichtbaren Massen beobachteten Erscheinungen die Gesetze für die Wirkungen der verschwindend kleinen Massentheilchen herauszulesen suchte; das heisst, objectiv ausgedrückt, indem man die Kräfte der zusammengesetzten Massen auflöste in die Kräfte ihrer kleinsten Elementartheile. Aber gerade in der so gewonnenen reinsten Form des Ausdrucks der Kraft, dem der mechanischen Kraft, die auf einen Massenpunkt wirkt, tritt es besonders deutlich heraus, dass die Kraft nur das objectivirte Gesetz der Wirkung ist. Die durch die Anwesenheit solcher und solcher Körper gegebene Kraft wird gleichgesetzt der Beschleunigung der Masse, auf die sie wirkt, multiplicirt mit dieser Masse. Der thatsächliche Sinn einer solchen Gleichung ist, dass sie das Gesetz ausspricht: Wenn solche und solche Massen vorhanden sind und keine anderen, so tritt solche und solche Beschleunigung ihrer einzelnen Punkte ein. Diesen thatsächlichen Sinn können wir mit den Thatsachen vergleichen und an ihnen prüfen. Der abstracte Begriff der Kraft, den wir einschieben, fügt nur das noch hinzu, dass dieses Gesetz nicht willkürlich erfunden, sondern dass es ein zwingendes Gesetz der Erscheinungen sei.

Unsere Forderung, die Naturerscheinungen zu begreifen, das heisst ihre Gesetze zu finden, nimmt so eine andere Form

des Ausdrucks an, die nämlich, dass wir die Kräfte aufzusuchen haben, welche die Ursachen der Erscheinungen sind. Die Gesetzlichkeit der Natur wird als causaler Zusammenhang aufgefasst, sobald wir die Unabhängigkeit derselben von unserem Denken und unserem Willen anerkennen.

Wenn wir also nach dem Fortschritt der Naturwissenschaft als Ganzem fragen, so werden wir ihn nach dem Maasse zu beurtheilen haben, in welchem die Anerkennung und die Kenntniss eines alle Naturerscheinungen umfassenden ursächlichen Zusammenhanges fortgeschritten ist.

Blicken wir zurück auf die Geschichte unserer Wissenschaften, so ist das erste grosse Beispiel von Unterordnung einer ausgedehnten Mannigfaltigkeit von Thatsachen unter ein umfassendes Gesetz von der theoretischen Mechanik ausgegangen, deren Grundbegriffe Galilei zuerst klar hingestellt hatte. Es handelte sich damals darum, die allgemeinen Sätze zu finden, die uns jetzt so selbstverständlich erscheinen, dass alle Masse träge sei, und dass die Grösse der Kraft nicht durch die Geschwindigkeit, sondern durch deren Veränderung zu messen sei. Zunächst wusste man die Wirkung einer continuirlich wirkenden Kraft sich nur als eine Reihe kleiner Stösse darzustellen. Erst als Leibnitz und Newton mit der Erfindung der Differentialrechnung das alte Dunkel, in welches der Begriff des Unendlichen gehüllt war, zerstreut und den Begriff des Continuirlichen und continuirlich Veränderlichen klargestellt hatten, konnte man zu einer reichen und fruchtbaren Anwendung der neu gefundenen mechanischen Begriffe fortschreiten. Das geeignetste und glänzendste Beispiel einer solchen Anwendung war die Bewegung der Planeten, und ich brauche hier nur daran zu erinnern, welch leuchtendes Vorbild die Astronomie für die Entwickelung aller anderen Naturwissenschaften gewesen ist. In ihr wurde durch die Gravitationstheorie zum ersten Male eine ungeheure und verwickelte Masse von Thatsachen unter ein einziges Princip von grösster Einfachheit zusammengefasst, eine Uebereinstimmung der Theorie und der Thatsachen erreicht, wie sie weder früher noch später in einem anderen Felde je wieder erreicht werden konnte. An den Bedürfnissen der Astronomie haben sich fast alle genaueren Messungsmethoden, sowie die meisten Fortschritte der neueren Mathematik entwickelt; sie war besonders geeignet, auch die Augen der Laien auf sich zu ziehen, theils durch die Erhabenheit ihrer Gegenstände, theils durch den praktischen Nutzen, den sie der Schifffahrt, der

Geodäsie und dadurch einer Menge von industriellen und socialen Interessen brachte.

Galilei begann mit dem Studium der irdischen Schwere; Newton dehnte deren Anwendung, anfangs vorsichtig und zögernd auf den Mond, dann kühner auf alle Planeten aus. Die neuere Zeit hat gelehrt, dass dieselben Gesetze der aller wägbaren Masse gemeinsamen Trägheit und Gravitation ihre Anwendung finden bis hinein in die Bahnen der entferntesten Doppelsterne, von denen das Licht noch zu uns kommt.

In der zweiten Hälfte des vorigen und der ersten Hälfte des laufenden Jahrhunderts reihte sich daran die grosse Entwickelung der Chemie, welche die alte Aufgabe, die Elemente zu finden, woran sich so viele metaphysische Speculationen geknüpft hatten, endlich thatsächlich löste; und wie sich dann immer die Wirklichkeit viel reicher erweist, als die kühnste und phantasiereichste Speculation, so traten nun an die Stelle der vier alten metaphysischen Elemente, Feuer, Wasser, Luft und Erde, die später bis auf die Zahl von 65 vermehrten Elemente der neueren Chemie. Die Wissenschaft hat erwiesen, dass diese Elemente wirklich unzerstörbar sind, unveränderlich in ihrer Masse, unveränderlich auch in ihren Eigenschaften, insofern als sie aus jedem Zustande, in den sie übergeführt worden sind, immer wieder ausgeschieden und auf dieselben Eigenschaften, die sie früher irgend einmal in isolirtem Zustande gehabt haben, zurückgeführt werden können. In allem bunten Wechsel der Erscheinungen der belebten und unbelebten Natur, so weit sie uns zugänglich sind, in allen den überraschenden Resultaten chemischer Zersetzung und Verbindung, deren Anzahl und Mannigfaltigkeit unsere Chemiker mit unermüdlichem Fleisse jedes Jahr in steigendem Maasse vermehren, herrscht das eine Gesetz von der Unveränderlichkeit der Stoffe mit ausnahmsloser Nothwendigkeit. Und schon ist die Chemie mit der Spectralanalyse hinausgedrungen in die Tiefen des unermesslichen Raumes, und hat in dessen fernsten Sonnen und Nebelflecken die Spuren wohlbekannter irdischer Elemente aufgefunden, so dass an der durchgehenden Gleichartigkeit der Stoffe im Weltall nicht zu zweifeln ist, wenn auch immerhin einzelne Elemente auf einzelne Gruppen von Weltkörpern beschränkt sein mögen.

An diese Constanz der Elemente schliesst sich eine andere weiter gehende Folgerung. Die Chemie erwies durch thatsächliche Untersuchung, dass alle Masse aus den von ihr gefundenen Elementen zusammengesetzt ist. Die Elemente können ihre Ver-

bindung und Mischung unter einander, die Art ihrer Aggregation oder ihrer Molecularstructur mannigfach verändern, das heisst sie können die Art ihrer Vertheilung im Raume verändern. Dagegen zeigen sie sich als durchaus unveränderlich in ihren Eigenschaften; das heisst, wenn sie in dieselbe Verbindung, beziehlich Isolirung, und in dieselbe Aggregation zurückgeführt werden, zeigen sie immer wieder dieselben Eigenschaften. Sind aber alle elementaren Substanzen unveränderlich nach ihren Eigenschaften und nur veränderlich nach ihrer Mischung, nach ihrer Aggregation, das heisst nach ihrer Vertheilung im Raume, so ist alle Veränderung in der Welt Aenderung der räumlichen Vertheilung der elementaren Stoffe und kommt in letzter Instanz zu Stande durch Bewegung.

Ist aber Bewegung die Urveränderung, welche allen anderen Veränderungen in der Welt zu Grunde liegt, so sind alle elementaren Kräfte Bewegungskräfte, und das Endziel der Naturwissenschaften ist, die allen anderen Veränderungen zu Grunde liegenden Bewegungen und deren Triebkräfte zu finden, also sich in Mechanik aufzulösen.

Wenn dies nun auch offenbar die letzte Consequenz der nachgewiesenen quantitativen und qualitativen Unveränderlichkeit der Materie ist, so bleibt sie doch zuvörderst nur als eine ideale Forderung stehen, von deren Verwirklichung wir noch weit entfernt sind. Erst in beschränkten Gebieten ist es gelungen, die Rückführung der unmittelbar beobachteten Veränderungen auf Bewegungen und Bewegungskräfte bestimmter Art zu Stande zu bringen. Ausser der Astronomie sind hier die rein mechanischen Theile der Physik, dann die Akustik, Optik, Elektricitätslehre zu nennen; in der Wärmelehre und in der Chemie wird schon eifrig an der Ausbildung bestimmter Vorstellungen über die Form der Bewegungen und Lagerungen der Molekeln gearbeitet, in den physiologischen Wissenschaften sind kaum erst unbestimmte Anfänge davon vorhanden.

Um so wichtiger ist es, dass sich im Laufe des letzten Vierteljahrhunderts ein bedeutender und allgemeingiltiger Fortschritt vollzogen hat, der geradezu auf das bezeichnete Ziel hin gerichtet ist. Wenn alle elementaren Kräfte Bewegungskräfte, alle also gleicher Natur sind, so müssen sie alle nach dem gleichen Maasse, nämlich dem Maasse der mechanischen Kräfte, zu messen sein. Und dass dies der Fall sei, ist in der That schon als erwiesen zu betrachten. Das Gesetz, welches dies ausspricht, ist

unter dem Namen des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft bekannt.

Für einen beschränkten Kreis von Naturerscheinungen war dasselbe schon von Newton ausgesprochen worden, deutlicher und allgemeiner dann von Bernoulli, von wo ab es in anerkannter Giltigkeit für den grösseren Theil der bekannten rein mechanischen Vorgänge stehen blieb. Einzelne Erweiterungen tauchten gelegentlich auf, namentlich bei Rumford, Humphrey Davy, Montgolfier. Aber als der, welcher zuerst den Begriff dieses Gesetzes rein und klar erfasst und seine absolute Allgemeingiltigkeit auszusprechen gewagt hat, ist derjenige zu nennen, den wir nachher von dieser Stelle zu hören die Freude haben werden, Dr. Robert Mayer von Heilbronn. Während Herr Mayer durch physiologische Fragen zu der Entdeckung der allgemeinsten Form dieses Gesetzes geleitet wurde, waren es technische Fragen des Maschinenbaues, die gleichzeitig und unabhängig von ihm Herrn Joule in Manchester zu denselben Ueberlegungen führten, und letzterem verdanken wir namentlich die wichtigen und mühsamen Experimentaluntersuchungen über dasjenige Gebiet, in welchem die Giltigkeit des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft am zweifelhaftesten erscheinen konnte, und wo die wichtigsten Lücken unserer thatsächlichen Kenntnisse bestanden, nämlich die Erzeugung von Arbeit durch Wärme und von Wärme durch Arbeit.

Um das Gesetz klar hinzustellen, musste im Gegensatze zu dem früher von Galilei gefundenen Begriffe der Intensität der Kraft ein neuer mechanischer Begriff ausgearbeitet werden, den wir als den Begriff der Quantität der Kraft bezeichnen können, und der auch sonst Quantität der Arbeit oder der Energie genannt worden ist.

Dieser Begriff der Quantität der Kraft war vorbereitet worden theils in der theoretischen Mechanik durch den Begriff des Quantums lebendiger Kraft einer bewegten Masse, theils in der praktischen Mechanik durch den Begriff der Triebkraft, die nöthig ist, um eine Maschine in Gang zu halten. Auch hatten die Maschinentechniker schon das Maass gefunden, nach welchem eine jede Triebkraft zu messen ist, indem sie bestimmten, wie viel Pfunde dadurch in der Secunde um einen Fuss gehoben werden können; so wird bekanntlich eine Pferdekraft definirt gleich der zur Hebung von 70 Kilogramm um ein Meter für jede Secunde nöthigen Triebkraft.

In der That tritt an den Maschinen und den zu ihren Bewegungen nöthigen Triebkräften die durch das Gesetz von der Erhaltung der Kraft ausgesprochene Gleichartigkeit aller Naturkräfte in der am meisten populären Form heraus. Jede Maschine, welche in Thätigkeit gesetzt werden soll, bedarf einer mechanischen Triebkraft. Wo diese hergenommen wird und welche Form sie hat, ist einerlei, wenn sie nur gross genug ist und anhaltend wirkt. Bald brauchen wir eine Dampfmaschine, bald ein Wasserrad oder eine Turbine, bald Pferde oder Ochsen an einem Göpelwerk, bald eine Windmühle oder, wenn nicht viel Kraft nöthig ist, den menschlichen Arm, ein aufgezogenes Gewicht oder eine elektro-magnetische Maschine. Welche von diesen Triebkräften wir wählen, ist nur abhängig von der Grösse der Kraft, die wir brauchen, und von der Gunst der Gelegenheit. In der Wassermühle wirkt die Schwere des von den Bergen herabfliessenden Wassers; hinaufgeschafft auf die Berge wird es durch die meteorologischen Prozesse, diese sind die Quelle der Triebkraft für die Mühle. In der Windmühle ist es die lebendige Kraft der bewegten Luft, welche die Flügel umtreibt; auch diese Bewegung stammt aus den meteorologischen Prozessen der Atmosphäre. In der Dampfmaschine ist es die Spannkraft der erhitzten Dämpfe, welche den Stempel hin- und herschiebt; diese wird hervorgerufen durch die Wärme, die im Feuerraume durch Verbrennung der Kohlen, das heisst durch einen chemischen Prozess, erzeugt wird. Letzterer ist hier die Quelle der Triebkraft. Ist es ein Pferd oder der menschliche Arm, welche arbeiten, so sind es deren Muskeln, welche, angeregt durch die Nerven, unmittelbar die mechanische Kraft erzeugen. Damit aber der lebende Körper Muskelkraft erzeugen könne, muss er genährt werden und athmen. Die Nahrungsmittel, die er einnimmt, scheiden wieder aus ihm aus, nachdem sie sich mit dem Sauerstoff der geathmeten Luft zu Kohlensäure und Wasser verbunden haben. Wiederum ist also auch hier ein chemischer Prozess nöthig, um dauernd die Muskelkraft zu unterhalten. Dasselbe gilt für die elektro-magnetischen Maschinen unserer Telegraphen.

So gewinnen wir mechanische Triebkraft aus den allerverschiedenartigsten Naturprozessen in der verschiedenartigsten Weise, aber, wie wir gleich dabei bemerken müssen, auch immer nur in begrenzter Quantität. Wir verbrauchen immer etwas dabei, was uns die Natur liefert. Wir verbrauchen in der Wassermühle eine Quantität in der Höhe angesammelten Wassers, wir

verbrauchen Kohlen in der Dampfmaschine, Zink und Schwefelsäure in der elektro-magnetischen Maschine, Nahrungsmittel für das arbeitende Pferd; wir verbrauchen in der Windmühle die Bewegung des Windes, welche an deren Flügeln gehemmt wird.

Umgekehrt, steht uns eine Triebkraft zur Verfügung, so können wir die verschiedenartigsten Wirkungen damit erreichen. Ich brauche hier die zahllose Mannigfaltigkeit industrieller Maschinen und die verschiedenartige Arbeit, die sie leisten, nicht aufzuzählen.

Achten wir vielmehr auf die physikalischen Unterschiede der möglichen Leistungen einer Triebkraft. Wir können mit ihrer Hilfe Lasten heben, Wasser in die Höhe pumpen, Gase verdichten, Eisenbahnzüge in Bewegung setzen, durch Reibung Wärme erzeugen. Wir können durch sie magnet-elektrische Maschinen drehen, dadurch elektrische Ströme erzeugen, und mit deren Hilfe Wasser oder andere chemische Verbindungen von stärkster Verwandtschaft zersetzen, Drähte glühend machen, Eisen magnetisiren u. s. w.

So können wir, wenn uns eine ausreichende mechanische Triebkraft zu Gebote steht, alle diejenigen Zustände und Bedingungen wieder restituiren, von denen ausgehend wir nach der zuerst gegebenen Aufzählung mechanische Triebkraft gewinnen konnten.

Wie aber die aus einem bestimmten Naturprozess zu gewinnende Triebkraft eine begrenzte ist, so ist auch andererseits der Betrag der Veränderungen begrenzt, die wir durch Aufwendung einer bestimmten Triebkraft hervorbringen können.

Diese Erfahrungen, die zunächst vereinzelt an Maschinen und physikalischen Apparaten gemacht waren, haben sich nun vereinigen lassen in ein Naturgesetz von weitreichendster Giltigkeit. Jede Veränderung in der Natur ist äquivalent einer gewissen Erzeugung oder einem gewissen Verbrauch an Triebkraft. Wird Triebkraft erzeugt, so kann sie entweder als solche zur Erscheinung kommen, oder unmittelbar wieder verbraucht werden, um andere Veränderungen von äquivalenter Grösse hervorzubringen. Die hauptsächlichsten Bestimmungen dieser Aequivalenz beruhen auf Joule's Messungen des mechanischen Wärmeäquivalents. Wenn wir eine Dampfmaschine durch zugeleitete Wärme in Bewegung setzen, so verschwindet in ihr Wärme proportional der geleisteten Arbeit; und zwar ist die Wärme, welche ein bestimmtes Gewicht Wasser um einen Grad der hunderttheiligen Scala erwärmen kann, fähig, in Arbeit verwandelt, dasselbe Gewicht Wasser zur Höhe

von 425 Meter zu heben. Und wenn wir Arbeit durch Reibung in Wärme verwandeln, brauchen wir wiederum, um ein bestimmtes Gewicht Wasser um einen Centesimalgrad zu erwärmen, die Triebkraft, welche dasselbe Gewicht Wasser gegeben haben würde, wenn es von 425 Meter Höhe herabgeflossen wäre. Die chemischen Prozesse erzeugen Wärme in bestimmtem Verhältniss; dadurch ist auch die solchen chemischen Kräften äquivalente Triebkraft bestimmt, und somit auch die Energie der chemischen Verwandtschaftskraft nach mechanischem Maasse messbar. Dasselbe gilt für alle anderen Formen der Naturkräfte, was hier nicht weiter ausgeführt zu werden braucht.

So stellt sich denn als Ergebniss der betreffenden Untersuchungen heraus, dass alle Naturkräfte nach demselben mechanischen Maasse messbar, und dass alle in Bezug auf Arbeitsleistung reinen Bewegungskräften äquivalent sind. Dadurch ist zunächst ein erster und bedeutender Fortschritt vollführt zu der Lösung der umfassenden theoretischen Aufgabe, alle Naturerscheinungen auf Bewegungen zurückzuführen.

Während die bisher angestellten Ueberlegungen mehr den logischen Werth des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft klarzustellen suchen sollten, spricht sich seine factische Bedeutung für die allgemeine Auffassung der Naturprozesse in dem grossartigen Zusammenhange aus, den es zwischen sämmtlichen Vorgängen des Weltalls über alle Entfernungen in Raum und Zeit hinaus eröffnet. Das Weltall erscheint, nach diesem Gesetze, ausgestattet mit einem Vorrathe an Energie, der durch allen bunten Wechsel der Naturprozesse nicht vermehrt, aber auch nicht vermindert werden kann; der da fortbesteht in stets wechselnder Erscheinungsweise, aber, wie die Materie, von Ewigkeit zu Ewigkeit in unveränderlicher Grösse; wirkend im Raume, aber nicht, wie die Materie, theilbar mit dem Raume. Alle Veränderung in der Welt besteht nur in einem Wechsel der Erscheinungsform dieses Vorraths von Energie. Hier erscheint ein Theil desselben als lebendige Kraft bewegter Massen, dort als regelmässige Oscillation in Licht und Schall, dann wieder als Wärme, das heisst als unregelmässige Bewegung der unsichtbar kleinen Körpertheilchen; bald erscheint die Energie in Form der Schwere zweier gegen einander gravitirenden Massen, bald als innere Spannung und Druck elastischer Körper, bald als chemische Anziehung, elektrische Ladung oder magnetische Vertheilung. Schwindet sie in einer Form, so erscheint sie sicher in einer anderen; und wo sie in neuer Form

erscheint, sind wir auch sicher, dass eine ihrer anderen Erscheinungsformen verbraucht ist.

Das von Clausius berichtigte Carnot'sche Gesetz der mechanischen Wärmetheorie lässt uns sogar erkennen, dass dieser Wechsel im Allgemeinen fortdauernd in einer bestimmten Richtung fortschreitet, indem immer mehr von dem grossen Vorrathe der Energie des Weltalls in die Form von Wärme übergehen muss.

So können wir im Geiste zurückgehen auf den Anfangszustand, wo die Masse unserer Weltkörper noch kalt, wahrscheinlich als chaotischer Dampf oder Staub im Weltraum vertheilt war. Wir sehen, dass sie sich erwärmen musste, wenn sie sich unter dem Einflusse der Schwerkraft zusammenballte. Auch jetzt noch erkennen wir Reste der lose vertheilten Materie mittelst der Spectralanalyse (einer Methode, deren theoretische Principien selbst aus der mechanischen Wärmetheorie herfliessen) in den Nebelflecken, wir erkennen sie in den Meteorschwärmen und Kometen; der Ballungsprozess und die Wärmeentwickelung gehen noch immer fort, wenn sie auch in unserem Theile des Weltraums grösstentheils vollendet sind. Der grösste Theil der ehemaligen Energie der Masse, welche jetzt unserem Sonnensystem angehört, besteht gegenwärtig als Wärme der Sonne. Aber diese Energie bleibt nicht ewig unserem Systeme erhalten; fortdauernd strahlen Theile von ihr hinaus als Licht und Wärme in die unendlichen Weltenräume. Bei diesem Hinausstrahlen empfängt auch unsere Erde ihren Antheil. Die einstrahlende Sonnenwärme aber ist es, welche an der Erdfläche die Winde und die Meeresströme erzeugt, die die Wasserdämpfe aus den tropischen Meeren aufsteigen und herüber auf Gebirge und Länder destilliren lässt, wonach sie wieder als Quellen und Ströme zum Meere zurückfliessen. Die Sonnenstrahlen geben den Pflanzen die Kraft, aus der Kohlensäure und dem Wasser wieder verbrennliche Stoffe abzuscheiden, welche den Thieren als Nahrung dienen, und so ist auch in dem bunten Wechsel des organischen Lebens die treibende Kraft nur aus dem ewigen grossen Vorrathe des Weltalls herzuleiten.

Dies erhabene Bild des Zusammenhangs aller Naturvorgänge ist in neuerer Zeit oft ausgemalt worden; ich brauche hier nur an seine grossen Züge zu erinnern. Wenn die Aufgabe der Naturwissenschaften darin besteht, die Gesetze zu finden, so ist hier in der That ein Schritt nach vorwärts von umfassendster Bedeutung geschehen.

Die eben erwähnte Anwendung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft auf die Vorgänge in Thieren und Pflanzen führt uns zu einer anderen Richtung hinüber, in welcher die Erkenntniss der Gesetzmässigkeit der Natur Fortschritte gemacht hat. Das genannte Gesetz ist nämlich auch in den principiellen Fragen der Physiologie von der eingreifendsten Bedeutung; und eben deshalb wurden Robert Mayer und ich selbst gerade von Seite der Physiologie her zu den auf die Erhaltung der Kraft bezüglichen Untersuchungen geführt.

Den Erscheinungen der unorganischen Natur gegenüber bestand, die Grundsätze der Methode betreffend, schon längst kein Zweifel mehr. Es war klar, dass feste Gesetze der Erscheinungen zu suchen waren, und es gab Beispiele genug, dass solche Gesetze sich finden liessen.

Der grösseren Verwickelung der Lebensvorgänge, ihrer Verbindung mit den Seelenthätigkeiten und der unverkennbaren Zweckmässigkeit der organischen Bildungen gegenüber konnte indessen selbst die Existenz einer festen Gesetzmässigkeit zweifelhaft erscheinen, und in der That hat die Physiologie von jeher mit der Principienfrage gekämpft: Sind alle Lebensvorgänge absolut gesetzmässig? oder giebt es irgend einen kleineren oder grösseren Umkreis derselben, innerhalb dessen Freiheit herrscht? Mehr oder weniger durch Worte verdeckt war und ist, namentlich ausserhalb Deutschlands, noch jetzt die Ansicht von Paracelsus, Helmont und Stahl verbreitet, dass eine „Lebensseele", die mehr oder weniger ähnlich begabt sei, wie die bewusste Seele des Menschen, die organischen Vorgänge regiere. Zwar wurde der Einfluss der unorganischen Naturkräfte auch in den Organismen anerkannt, indem man annahm, dass die Lebensseele Macht über die Materie nur mittelst der physikalischen und chemischen Kräfte der Materie selbst habe, und also ohne deren Hülfe nichts ausführen könne, dass ihr aber die Fähigkeit zukomme, die Wirksamkeit dieser Kräfte zu binden und zu lösen, je nachdem es ihr gut scheine.

Nach dem Tode, nicht mehr gebunden durch den Einfluss der Lebensseele oder Lebenskraft, seien es gerade die chemischen Kräfte der organischen Masse, welche die Fäulniss herbeiführten. Uebrigens blieb die Fähigkeit, den Körper planmässig aufzubauen und sich zweckmässig den äusseren Umständen zu accommodiren, bei allem Wechsel der Ausdrucksweise, mochte man nun von dem Archäus, oder von der Anima inscia, oder von der Lebens-

kraft und Naturheilkraft sprechen, das wesentlichste Attribut dieses hypothetischen regierenden Princips der vitalistischen Theorie, für welches deshalb seinen Attributen nach auch nur der Name einer „Seele“ wirklich passte.

Es ist aber klar, dass die genannte Vorstellung dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft direct widerspricht. Könnte die Lebenskraft die Schwere eines Gewichtes zeitweilig aufheben, so würde dasselbe ohne Arbeit zu beliebiger Höhe geschafft werden können, und später, wenn die Wirkung seiner Schwere wieder freigegeben wäre, beliebig grosse Arbeit zu leisten vermögen. So wäre Arbeit ohne Gegenleistung aus Nichts zu schaffen. Könnte die Lebenskraft zeitweilig die chemische Anziehung des Kohlenstoffs zum Sauerstoff aufheben, so würde Kohlensäure ohne Arbeitsaufwand zu zerlegen sein, und der freigewordene Kohlenstoff und Sauerstoff würde wieder neue Arbeit leisten können.

In der That finden wir aber keine Spur davon, dass die lebenden Organismen irgend welches Quantum Arbeit ohne entsprechenden Verbrauch erzeugen könnten. Wenn wir nur auf die Arbeitsleistung Rücksicht nehmen, so sind die Leistungen der Thiere denen der Dampfmaschinen durchaus ähnlich. Die Thiere, wie die Maschinen, können sich bewegen und arbeiten, nur wenn sie fortdauernd Brennmaterial, nämlich Nahrungsmittel, und sauerstoffhaltige Luft zugeführt erhalten; beide geben die aufgenommenen Stoffe in verbranntem Zustande wieder aus, und beide erzeugen dabei Wärme und Arbeit. Die bisherigen Untersuchungen über das Quantum der Wärme, welche ein ruhendes Thier erzeugt, widersprechen auch durchaus nicht der Annahme, dass diese Wärme genau gleich ist dem Arbeitsäquivalent der in Thätigkeit gesetzten chemischen Verwandtschaftskräfte.

Für die Leistungen der Pflanzen ist in den Sonnenstrahlen eine jedenfalls genügende Kraftquelle vorhanden, deren sie bedürfen, um das organische Material ihres Körpers zu vermehren. Indessen sind allerdings für sie sowohl, wie für die Thiere, genaue quantitative Untersuchungen der verbrauchten und erzeugten Kraftäquivalente noch erst auszuführen, um die strenge Uebereinstimmung beider Grössen thatsächlich zu constatiren.

Ist aber das Gesetz von der Erhaltung der Kraft auch für die lebenden Wesen giltig, so folgt daraus, dass die physikalischen und chemischen Kräfte der zum Aufbau ihres Körpers verwendeten Stoffe ohne Unterbrechung und ohne Willkür fortdauernd thätig

sind, und dass ihre strenge Gesetzlichkeit in keinem Augenblicke durchbrochen wird.

Die Physiologie musste sich also entschliessen, mit einer unbedingten Gesetzlichkeit der Naturkräfte auch in der Erforschung der Lebensvorgänge zu rechnen; sie musste Ernst machen mit der Verfolgung der physikalischen und chemischen Prozesse, die innerhalb der Organismen vor sich gehen. Es ist dies eine ungeheuer verwickelte und weitläufige Arbeit; aber es ist, namentlich in Deutschland, eine grosse Anzahl rüstiger Arbeiter am Werke, und schon können wir sagen, dass der Lohn nicht ausgeblieben ist, und dass das Verständniss der Lebenserscheinungen in den letzten vierzig Jahren grössere Fortschritte gemacht hat, als vorher in zwei Jahrtausenden.

Eine nicht hoch genug zu schätzende Unterstützung für diese Klärung der Grundprincipien der Lehre vom Leben kam von der Seite der beschreibenden Naturwissenschaften durch Darwin's Theorie von der Fortbildung der organischen Formen, indem durch sie die Möglichkeit einer ganz neuen Deutung der organischen Zweckmässigkeit gegeben wurde.

Die in der That wunderbare und vor der wachsenden Wissenschaft immer reicher sich entfaltende Zweckmässigkeit im Aufbau und den Verrichtungen der lebenden Wesen war wohl das Hauptmotiv gewesen, welches zur Vergleichung der Lebensvorgänge mit den Handlungen eines seelenartig wirkenden Princips herausforderte. Wir kennen in der ganzen uns umgebenden Welt nur eine einzige Reihe von Erscheinungen, die einen ähnlichen Charakter zeigen, das sind die Werke und Handlungen eines intelligenten Menschen; und wir müssen anerkennen, dass in unendlich vielen Fällen die organische Zweckmässigkeit den Fähigkeiten der menschlichen Intelligenz so ausserordentlich überlegen erscheint, dass man ihr eher einen höheren als einen niederen Charakter zuzuschreiben geneigt sein möchte.

Man wusste daher vor Darwin nur zwei Erklärungen der organischen Zweckmässigkeit zu geben, welche aber beide auf Eingriffe freier Intelligenz in den Ablauf der Naturprozesse zurückführten. Entweder betrachtete man der vitalistischen Theorie gemäss die Lebensprozesse als fortdauernd geleitet durch eine Lebensseele, oder aber man griff für jede lebende Species auf einen Act übernatürlicher Intelligenz zurück, durch die sie entstanden sein sollte. Die letztere Ansicht nahm zwar seltenere Durchbrechungen des gesetzlichen Zusammenhanges der Natur-

erscheinungen an, und erlaubte die gegenwärtig zu beobachtenden Vorgänge in den jetzt bestehenden Arten lebender Wesen streng wissenschaftlich zu behandeln. Aber auch sie wusste jene Durchbrechungen nicht vollständig zu beseitigen, und erfreute sich deshalb kaum einer erheblichen Gunst der vitalistischen Ansicht gegenüber, welche gleichsam durch den Augenschein, das heisst durch das natürliche Streben hinter ähnlichen Erscheinungen auch ähnliche Ursachen zu suchen, mächtig gestützt wurde.

Darwin's Theorie enthält einen wesentlich neuen schöpferischen Gedanken. Sie zeigt, wie Zweckmässigkeit der Bildung in den Organismen auch ohne alle Einmischung von Intelligenz durch das blinde Walten eines Naturgesetzes entstehen kann. Es ist dies das Gesetz der Forterbung der individuellen Eigenthümlichkeiten von den Eltern auf die Nachkommen; ein Gesetz, das längst bekannt und anerkannt war, und nur eine bestimmtere Abgrenzung zu erhalten brauchte. Wenn beide Eltern gemeinsame individuelle Eigenthümlichkeiten haben, so nimmt auch die Majorität ihrer Nachkommen an denselben Theil, und wenn auch einige unter diesen vorkommen, die eine Verminderung der genannten Eigenthümlichkeiten zeigen, so finden sich dagegen unter einer grösseren Anzahl von Nachkommen regelmässig auch andere, die eine Steigerung derselben Eigenschaften zeigen. Werden nun vorzugsweise die letzteren zur Erzeugung neuer Nachzucht benutzt, so kann eine immer weiter und weiter gehende Steigerung solcher Eigenthümlichkeiten erzielt und vererbt werden. Dies ist in der That das Verfahren, welches Thierzüchter und Gärtner anwenden, um mit grosser Sicherheit neue Racen und Varietäten von sehr merklich abweichenden Eigenschaften zu erziehen. Die Erfahrungen der künstlichen Züchtung sind wissenschaftlich als eine Bestätigung des angeführten Gesetzes durch das Experiment zu betrachten, und zwar ist dieses Experiment mit Arten aus allen Klassen der organischen Reiche, in einer ungeheuren Anzahl von Fällen und in Beziehung auf die verschiedensten Organe des Körpers schon geglückt, und wird fortdauernd tausendfältig wiederholt.

Nachdem auf diese Weise die allgemeine Wirksamkeit des Erblichkeitsgesetzes festgestellt war, handelte es sich für Darwin nur noch darum, zu discutiren, welche Folgen dasselbe Gesetz für die wild lebenden Thiere und Pflanzen haben müsse. Das bekannte Ergebniss ist, dass diejenigen Individuen, welche im Kampfe um das Dasein sich durch irgend welche vortheilhafte Eigenschaften auszeichnen, auch am meisten Wahrscheinlichkeit

haben, Nachkommenschaft zu erzeugen, und dieser ihre vortheilhaften Eigenschaften zu vererben. Dadurch ist also eine allmählich von Generation zu Generation sich vervollkommnende Anpassung jeder Art lebender Wesen an die Umstände bedingt, unter denen sie zu leben haben, bis ihr Typus so weit ausgebildet ist, dass jede erhebliche Abweichung von ihm unvortheilhaft wird. Dann wird der Typus fest für so lange Zeit, als die äusseren Bedingungen seiner Existenz im Wesentlichen unverändert bleiben. Einen solchen nahehin festen Zustand scheinen die jetzt lebenden Geschöpfe erreicht zu haben; daher, für die Zeiten der Menschengeschichte wenigstens, vorwiegend die Constanz der Species beobachtet wird.

Noch besteht um die Wahrheit oder Wahrscheinlichkeit von Darwin's Theorie lebhafter Streit; er dreht sich aber doch eigentlich nur um die Grenzen, welche wir für die Veränderlichkeit der Arten annehmen dürfen. Dass innerhalb derselben Species erbliche Racenverschiedenheiten auf die von Darwin beschriebene Weise zu Stande kommen können, ja dass viele der bisher als verschiedene Species derselben Gattung betrachteten Formen von derselben Urform abstammen, werden auch seine Gegner kaum leugnen. Ob wir uns aber hierauf beschränken müssen, oder ob wir vielleicht alle Säugethiere von einem ersten Beutelthier, oder auch weiter alle Wirbelthiere von einem ersten Lancettfischchen, oder gar alle Thiere und Pflanzen zusammengenommen aus dem schleimigen Protoplasma eines Eozoon ableiten dürfen, darüber entscheiden im Augenblicke allerdings mehr die Neigungen der einzelnen Forscher, als die Thatsachen. Doch häufen sich schon immer mehr die Bindeglieder zwischen den Classen von scheinbar unvereinbarem Typus; schon sind in regelmässig gelagerten geologischen Schichten wirklich nachweisbare Uebergänge sehr verschiedener Formen in einander gefunden worden, und es wächst unverkennbar, seitdem man danach sucht, die Zahl der Thatsachen, welche mit Darwin's Theorie übereinstimmen und ihr im Einzelnen immer speciellere Ausführung geben.

Daneben wollen wir nicht vergessen, welches klare Verständniss Darwin's grosser Gedanke in die bis dahin so mysteriösen Begriffe der natürlichen Verwandtschaft, des natürlichen Systems und der Homologie der Organe bei verschiedenen Thieren gebracht hat; wie die wunderbare Wiederholung der niederen Thierbildungen bei den Embryonen der höheren, die der natürlichen Verwandtschaft folgende Entwickelung der paläontologischen For-

men, die eigenthümlichen Verwandtschaftsverhältnisse innerhalb der geographisch beschränkten Faunen und Floren sich aus ihm erklärt haben. Die natürliche Verwandtschaft erschien sonst nur als eine räthselhafte, aber vollkommen grundlose Aehnlichkeit der Formen; jetzt ist sie zur wirklichen Blutsverwandtschaft geworden. Das natürliche System drängte sich zwar der Anschauung als solches auf, aber die Theorie leugnete eigentlich jede reelle Bedeutung desselben; jetzt erhält es die Bedeutung eines wirklichen Stammbaumes der Organismen. Die Thatsachen der paläontologischen und embryologischen Entwickelung, der geographischen Vertheilung waren räthselhafte Wunderlichkeiten, so lange man jede einzelne Species durch einen unabhängigen Schöpfungsact erzeugt glaubte, oder warfen gar ein kaum vortheilhaft zu nennendes Licht auf das seltsam herumtastende Verfahren, welches dem Weltenschöpfer dabei zugemuthet wurde. Darwin hat alle diese vereinzelten Gebiete aus dem Zustande einer Anhäufung räthselhafter Wunderlichkeiten in den Zusammenhang einer grossen Entwickelung erhoben. Er hat an die Stelle einer Art von künstlerischer Anschauung oder Ahnung, wie sie für die Thatsachen der vergleichenden Anatomie und der Morphologie der Pflanzen schon für Goethe als einen der ersten aufgegangen war, bestimmte Begriffe gesetzt.

Damit ist auch die Möglichkeit bestimmter Fragestellung für die weitere Forschung gegeben; ein grosser Gewinn jedenfalls, auch wenn sich herausstellen sollte, dass Darwin's Theorie nicht die ganze Wahrheit umfasst, und dass vielleicht neben den von ihm aufgewiesenen Einflüssen noch andere bei der Umformung der organischen Formen sich geltend gemacht haben sollten.

Während Darwin's Theorie sich ausschliesslich auf die durch die Reihe der geschlechtlichen Zeugungen eintretende allmähliche Umformung der Arten bezieht, ist bekannt, dass auch das einzelne Individuum sich den Bedingungen, unter denen es zu leben hat, bis zu einem gewissen Grade anpasst, oder, wie wir zu sagen pflegen, eingewöhnt; dass also auch noch während des einzelnen Lebens eines Individuums eine gewisse höhere Ausbildung der organischen Zweckmässigkeit gewonnen werden kann. Und gerade in demjenigen Gebiete des organischen Lebens, wo die Zweckmässigkeit seiner Bildungen den höchsten Grad erreicht und die meiste Bewunderung erlangt hat, nämlich im Gebiete der Sinneswahrnehmungen, lehren die neueren Fortschritte der Physiologie,

dass diese individuelle Anpassung eine ganz hervorragende Rolle spielt.

Wer hat nicht schon die Treue und Genauigkeit der Nachrichten bewundert, welche unsere Sinne uns von der umgebenden Welt zuführen, vor allen die des in die Ferne dringenden Auges. Diese Nachrichten sind ja die Voraussetzungen für die Entschlüsse, die wir fassen, für die Handlungen, die wir ausführen; und nur wenn unsere Sinne uns richtige Wahrnehmungen zugeführt haben, können wir erwarten, richtig zu handeln, so dass der Erfolg unseren Erwartungen entspricht. Durch diesen Erfolg prüfen wir immer wieder die Treue der Berichte, welche die Sinne uns geben; und millionenfach wiederholte Erfahrung lehrt uns, dass diese Treue sehr gross, fast ausnahmslos ist. Wenigstens sind die Ausnahmen, die sogenannten Sinnestäuschungen, selten, und werden nur durch ganz besondere und ungewöhnliche Bedingungen herbeigeführt.

So oft wir die Hand ausstrecken, um etwas zu ergreifen, oder den Fuss vorsetzen, um auf einen Gegenstand zu treten, müssen wir vorher richtige Gesichtsbilder über die Lage des zu berührenden Gegenstandes, seine Form, seine Entfernung u. s. w. gebildet haben, sonst würden wir fehlgreifen oder fehltreten. Die Sicherheit und Genauigkeit unserer Sinneswahrnehmungen muss mindestens so weit gehen, als die Sicherheit und Genauigkeit, welche unsere Handlungen bei guter Einübung erreichen können; und der Glaube an die Zuverlässigkeit unserer Sinne ist deshalb kein blinder Glaube, sondern ein nach seiner praktischen Richtigkeit durch unzählbare Versuche immer wieder geprüfter und bewährter.

Ist nun diese Uebereinstimmung zwischen den Sinneswahrnehmungen und ihren Objecten, diese Grundlage aller unserer Erkenntnisse, ein vorbereitetes Product der organischen Schöpfungskraft: so hat hier in der That deren zweckmässiges Bilden den Gipfel seiner Vollendung erreicht. Aber gerade hier hat die Untersuchung der wirklichen Thatsachen den Glauben an die vorbestimmte Harmonie der inneren und äusseren Welt auf das Unbarmherzigste in Stücke zerschlagen.

Ich schweige von dem immerhin unerwarteten Ergebnisse der ophthalmometrischen und optischen Untersuchungen, wonach das Auge keineswegs ein vollkommeneres optisches Instrument ist, als ein von Menschenhänden gemachtes, sondern im Gegentheil, ausser den unvermeidlichen Fehlern eines jeden dioptrischen Instrumentes auch solche zeigt, die wir an einem künstlichen

Instrumente bitter tadeln würden; dass auch das Ohr uns die äusseren Töne keineswegs im Verhältnisse ihrer wirklichen Stärke zuträgt, sondern sie eigenthümlich zerlegt, verändert und nach der Verschiedenheit ihrer Höhe in sehr verschiedenem Maasse verstärkt oder schwächt.

Diese Abweichungen verschwinden gegen diejenigen, welche wir finden, wenn wir die Qualitäten der Sinnesempfindungen untersuchen, durch welche uns von den verschiedenen Eigenschaften der äusseren Dinge Kunde gegeben wird. In Bezug auf letztere können wir geradezu den Beweis führen, dass gar keine Art und kein Grad von Aehnlichkeit besteht zwischen der Qualität einer Sinnesempfindung und der Qualität des äusseren Agens, durch welches sie erregt ist, und welches durch sie abgebildet wird.

Es war dies der Hauptsache nach schon durch das von Johannes Müller aufgestellte Gesetz von den specifischen Sinnesenergien dargelegt worden. Danach kommt jedem Sinnesnerven eine eigenthümliche Weise der Empfindung zu; jeder kann zwar durch eine ganze Anzahl von Erregungsmitteln in Thätigkeit gebracht werden, aber dasselbe Erregungsmittel kann meist auch verschiedene Sinnesorgane afficiren, und wie dies auch geschehen mag, immer entsteht im Sehnerven nur Lichtempfindung, im Hörnerven nur Tonempfindung, überhaupt in jedem einzelnen empfindenden Nerven nur eine seiner besonderen specifischen Energie entsprechende Empfindung. Die allereingreifendsten Unterschiede der Qualitäten der Empfindung, nämlich die zwischen den Empfindungen verschiedener Sinne, hängen also durchaus nicht von der Natur des äusseren Erregungsmittels, sondern nur von der Natur des getroffenen Nervenapparates ab.

Die Tragweite dieses Müller'schen Gesetzes ist durch die weiteren Forschungen nur vergrössert worden. Es ist höchst wahrscheinlich geworden, dass selbst die Empfindungen verschiedener Farben und verschiedener Tonhöhen, also auch die qualitativen Unterschiede der Lichtempfindungen unter einander und der Tonempfindungen unter einander, von der Erregung verschiedener und mit verschiedenen specifischen Energien begabter Fasersysteme des Sehnerven, beziehlich des Hörnerven abhängen. Die unendlich viel grössere objective Mannigfaltigkeit der Lichtmischungen wird dadurch in der Empfindung auf eine nur dreifache Verschiedenartigkeit, nämlich auf die der Mischungen von drei Grundfarben, zurückgeführt. Wegen dieser Reducirung der

Unterschiede können sehr verschiedene Lichtmischungen gleich aussehen. Dabei hat sich gezeigt, dass keinerlei Art von physikalischer Gleichheit der subjectiven Gleichheit verschieden gemischter Lichtmengen von gleicher Farbe entspricht. Es geht aus diesen und ähnlichen Thatsachen die überaus wichtige Folgerung hervor, dass unsere Empfindungen nach ihrer Qualität nur Zeichen für die äusseren Objecte sind, und durchaus nicht Abbilder von irgend welcher Aehnlichkeit. Ein Bild muss in irgend einer Beziehung seinem Objecte gleichartig sein; wie zum Beispiel eine Statue mit dem abgebildeten Menschen gleiche Körperform, ein Gemälde gleiche Farbe und gleiche perspectivische Projection hat. Für ein Zeichen genügt es, dass es zur Erscheinung komme, so oft der zu bezeichnende Vorgang eintritt, ohne dass irgend welche andere Art von Uebereinstimmung, als die Gleichzeitigkeit des Auftretens zwischen ihnen existirt; nur von dieser letzteren Art ist die Correspondenz zwischen unseren Sinnesempfindungen und ihren Objecten. Sie sind Zeichen, welche wir lesen gelernt haben, sie sind eine durch unsere Organisation uns mitgegebene Sprache, in der die Aussendinge zu uns reden; aber diese Sprache müssen wir durch Uebung und Erfahrung verstehen lernen, eben so gut wie unsere Muttersprache.

Und nicht bloss mit den qualitativen Unterschieden der Empfindungen verhält es sich so, sondern auch jedenfalls mit dem grössten und wichtigsten Theil, wenn nicht mit der Gesammtheit der räumlichen Unterschiede in unseren Wahrnehmungen. In dieser Beziehung ist namentlich die neuere Lehre vom binocularen Sehen und die Erfindung des Stereoskops von Wichtigkeit geworden. Was die Empfindung der beiden Augen uns unmittelbar und ohne Vermittelung psychischer Thätigkeiten liefern könnte, wären höchstens zwei etwas verschiedene flächenhafte Bilder der Aussenwelt von je zwei Dimensionen, wie sie auf den beiden Netzhäuten liegen; statt dessen finden wir in unserer Anschauung ein räumliches Bild der uns umgebenden Welt von drei Dimensionen vor. Wir erkennen sinnlich eben so gut die Entfernung der nicht allzu entfernten Gegenstände von uns, wie ihr perspectivisches Nebeneinanderstehen, und vergleichen die wahre Grösse zweier verschieden weit entfernter Objecte von ungleicher scheinbarer Grösse viel sicherer mit einander, als die gleiche scheinbare Grösse eines Fingers etwa und des Mondes.

Eine vor allen einzelnen Thatsachen stichhaltende Erklärung

der räumlichen Gesichtswahrnehmungen gelingt es, meines Erachtens, nur zu geben, wenn man mit Lotze annimmt, dass den Empfindungen der räumlich verschieden gelagerten Nervenfasern gewisse Verschiedenheiten, Localzeichen, anhaften, deren Raumbedeutung von uns gelernt wird. Dass eine Kenntniss dieser Bedeutung unter solchen Voraussetzungen und unter Beihilfe der Bewegungen unseres Körpers gewonnen werden kann, und dass dabei gleichzeitig zu lernen ist, wie die Bewegungen richtig ausgeführt werden, um ihren erwarteten Erfolg zu erreichen und dessen Erreichung wahrzunehmen, ist von mehreren Seiten ausgeführt worden.

Auch diejenigen Physiologen, welche möglichst viel von der angeborenen Harmonie der Sinne mit der Aussenwelt retten möchten, geben zu, dass die Erfahrung bei der Deutung der Gesichtsbilder ausserordentlich einflussreich ist, und im Falle des Zweifels meist endgiltig entscheidet. Der Streit bewegt sich gegenwärtig fast nur noch um die Frage, wie breit beim Neugeborenen etwa die Einmischung angeborener Triebe ist, welche die Einübung in das Verständniss der Sinnesempfindungen erleichtern könnten. Nothwendig ist die Annahme solcher Triebe nicht; ja sie erschwert eher die Erklärung der gut beobachteten Phänomene beim Erwachsenen, als dass sie sie erleichtert [1]).

Daraus geht nun hervor, dass diese feine und viel bewunderte Harmonie zwischen unseren Sinneswahrnehmungen und ihren Objecten im Wesentlichen und mit nur zweifelhaften Ausnahmen eine individuell erworbene Anpassung ist, ein Product der Erfahrung, der Einübung, der Erinnerung an die früheren Fälle ähnlicher Art.

Hier schliesst sich der Ring unserer Betrachtungen wieder zusammen und führt zu seinem Ausgangspunkte zurück. Wir sahen im Anfange, dass das, was unsere Wissenschaft zu erstreben hat, die Kenntniss der Gesetze sei, das heisst die Kenntniss, wie zu verschiedenen Zeiten auf gleiche Vorbedingungen gleiche Folgen eintreten. Wir sahen, wie in letzter Instanz alle Gesetze in Gesetze der Bewegung aufgelöst werden müssen. Wir sehen nun hier am Schlusse, dass unsere Sinnesempfindungen nur Zeichen für die Veränderungen in der Aussenwelt sind, und nur in der Darstellung der zeitlichen Folge die Bedeutung von Bildern haben.

[1]) Eine weitere Ausführung über diese Verhältnisse findet sich in meinen drei Vorlesungen über die neueren Fortschritte in der Theorie des Sehens (Seite 265 dieses Bandes).

Eben deshalb sind sie aber auch im Stande, die Gesetzmässigkeit in der zeitlichen Folge der Naturphänomene direct abzubilden. Wenn unter gleichen Umständen in der Natur die gleiche Wirkung eintritt, so wird auch der unter gleichen Umständen beobachtende Mensch die gleiche Folge von Eindrücken sich gesetzmässig wiederholen sehen. So genügt, was unsere Sinnesorgane leisten, gerade für die Erfüllung der Aufgabe der Wissenschaft, und genügt auch gerade für die praktischen Zwecke des handelnden Menschen, der sich auf die theils unwillkürlich durch die alltägliche Erfahrung, theils absichtlich durch die Wissenschaft erworbene Kenntniss der Naturgesetze stützen muss.

Indem wir hiermit unsere Uebersicht schliessen, dürfen wir wohl ein uns befriedigendes Facit ziehen. Die Wissenschaft von der Natur ist rüstig vorgeschritten, und zwar nicht nur zu vereinzelten Zielen, sondern in einem gemeinsamen grossen Zusammenhange; das schon Geleistete mag die Erreichung weiterer Fortschritte verbürgen. Die Zweifel an der vollen Gesetzmässigkeit der Natur sind immer mehr zurückgedrängt worden, immer allgemeinere und umfassendere Gesetze haben sich enthüllt. Dass diese Richtung des wissenschaftlichen Strebens eine gesunde ist, haben namentlich ihre grossen praktischen Folgen deutlich erwiesen; und hier mag es mir erlaubt sein, die von mir speciell vertretene Wissenschaft besonders hervorzuheben. Gerade in der Physiologie war die wissenschaftliche Arbeit durch die Zweifel an der nothwendigen Gesetzlichkeit, das heisst also an der Begreiflichkeit der Lebenserscheinungen, von lähmendem Einflusse gewesen, und derselbe erstreckte sich natürlich auch auf die von der Physiologie abhängende praktische Wissenschaft, die Medicin. Beide haben einen seit Jahrtausenden nicht dagewesenen Aufschwung gewonnen, seit man mit Ernst und Eifer sich der naturwissenschaftlichen Methode, der genauen Beobachtung der Erscheinungen, dem Versuch zugewendet hat. Ich kann als früherer praktischer Arzt persönlich davon Zeugniss ablegen. Meine Ausbildung fiel in eine Entwickelungsperiode der Medicin, wo bei den nachdenkenden und gewissenhaften Köpfen völlige Verzweiflung herrschte. Dass die alten, überwiegend theoretisirenden Methoden, die Medicin zu betreiben, gänzlich haltlos waren, war nicht schwer zu erkennen; mit diesen Theorien aber waren die wirklich ihnen zu Grunde liegenden Erfahrungsthatsachen so unentwirrbar verstrickt, dass auch diese meist über Bord geworfen wurden. Wie man die Wissenschaft neu aufbauen müsse, war an dem Beispiel

der übrigen Naturwissenschaften wohl klar geworden; aber die neue Aufgabe stand riesengross vor uns; sie zu bewältigen war kaum ein Anfang gemacht, und diese ersten Anfänge waren zum Theil recht grob und ungeschickt. Wir dürfen uns nicht wundern, wenn viele redliche und ernsthaft denkende Männer sich damals in Unbefriedigung von der Medicin abwendeten, oder grundsätzlich sich einem übertriebenen Empirismus ergaben.

Aber die rechte Arbeit brachte auch schneller ihre rechten Früchte, als es von Vielen gehofft wurde. Die Einführung der mechanischen Begriffe in die Lehre von der Circulation und Respiration, das bessere Verständniss der Wärmeerscheinungen, die feiner ausgebildete Physiologie der Nerven ergaben schnell praktische Consequenzen von der grössten Wichtigkeit; die mikroskopische Untersuchung der parasitischen Gewebeformen, die grossartige Entwickelung der pathologischen Anatomie lenkten von nebelhaften Theorien unwiderstehlich auf die Wirklichkeit hin. Hier fand man viel bestimmtere Unterschiede und ein viel deutlicheres Verständniss des Mechanismus der Krankheitsprozesse, als es das Pulszählen, die Harnsedimente und der Fiebertypus der älteren Medicin je gegeben hatten. Darf ich einen Zweig der Medicin nennen, in welchem sich der Einfluss der naturwissenschaftlichen Methode wohl am glänzendsten gezeigt hat, so ist es die Augenheilkunde. Die eigenthümliche Beschaffenheit des Auges begünstigt die Anwendung physikalischer Untersuchungsmethoden, sowohl für die functionellen, wie für die anatomischen Störungen des lebenden Organes. Einfache physikalische Hülfsmittel, Brillen, bald sphärisch, bald cylindrisch, bald prismatisch, genügen heute in vielen Fällen zur Beseitigung von Missständen, die früher das Organ dauernd leistungsunfähig erscheinen liessen; andererseits sind eine grosse Anzahl von Veränderungen, die früher erst zu erkennen waren, nachdem sie unheilbare Blindheit herbeigeführt hatten, jetzt in ihren Anfängen sicher zu entdecken und zu beseitigen. Die Augenheilkunde hat auch wohl deshalb, weil sie der wissenschaftlichen Methode die günstigsten Anhaltspunkte darbietet, besonders viele ausgezeichnete Forscher angezogen und sich schnell zu ihrer jetzigen Stellung entwickelt, in der sie den übrigen Zweigen der Medicin etwa ebenso als leuchtendes Beispiel der Leistungsfähigkeit der echten Methode vorangeht, wie es lange Zeit die Astronomie den übrigen Naturwissenschaften that.

Während in der Erforschung der unorganischen Natur die

verschiedenen Nationen Europas ziemlich gleichmässig vorschritten, gehört die neuere Entwickelung der Physiologie und Medicin vorzugsweise Deutschland an. Ich habe die Hindernisse schon bezeichnet, welche dem Fortschritt in diesen Gebieten früher entgegenstanden. Die Fragen über die Natur des Lebens hängen eng mit psychologischen und ethischen Fragen zusammen. Zunächst handelt es sich freilich auch hier um den unermüdlichen Fleiss, der für ideale Zwecke und ohne nahe Aussicht auf praktischen Nutzen, der reinen Wissenschaft zugewendet werden muss. Und wir dürfen es ja wohl von uns rühmen, dass gerade durch diesen begeisterten und entsagenden Fleiss, der für die innere Befriedigung und nicht für den äusseren Erfolg arbeitet, sich die deutschen Forscher von jeher ausgezeichnet haben.

Aber das Entscheidende war meiner Meinung nach in diesem Falle etwas Anderes, nämlich, dass bei uns eine grössere Furchtlosigkeit vor den Consequenzen der ganzen und vollen Wahrheit herrscht, als anderswo. Auch in England und Frankreich giebt es ausgezeichnete Forscher, welche mit voller Energie in dem rechten Sinne der naturwissenschaftlichen Methode zu arbeiten im Stande wären; aber sie mussten sich bisher fast immer beugen vor gesellschaftlichen und kirchlichen Vorurtheilen, und konnten, wenn sie ihre Ueberzeugung offen aussprechen wollten, dies nur zum Schaden ihres gesellschaftlichen Einflusses und ihrer Wirksamkeit thun.

Deutschland ist kühner vorgegangen; es hat das Vertrauen gehabt, welches noch nie getäuscht worden ist, dass die vollerkannte Wahrheit auch die Heilmittel mit sich führt gegen die Gefahren und Nachtheile, welche halbes Erkennen der Wahrheit hier und da zur Folge haben mag. Ein arbeitsfrohes, mässiges, sittenstrenges Volk darf solche Kühnheit üben, es darf der Wahrheit voll in das Antlitz zu schauen suchen; es geht nicht zu Grunde an der Aufstellung einiger voreiligen und einseitigen Theorien, wenn diese auch die Grundlagen der Sittlichkeit und der Gesellschaft anzutasten scheinen.

Wir stehen hier nahe an den Südgrenzen des deutschen Vaterlandes. In der Wissenschaft brauchen wir ja wohl nicht nach politischen Grenzen zu fragen, sondern da reicht unser Vaterland so weit, als die deutsche Zunge klingt, als deutscher Fleiss und deutsche Unerschrockenheit im Ringen nach Wahrheit Anklang finden. Und dass sie hier Anklang finden, haben wir aus der gastlichen Aufnahme und aus den begeisterten Worten, mit denen

wir begrüsst wurden, erkennen können. Eine junge medicinische Facultät wird hier gebildet. Wir wollen ihr den Wunsch auf ihren Lebensweg mitgeben, dass sie sich kräftig entwickeln möge in diesen Cardinaltugenden deutscher Wissenschaft; dann wird sie die Heilmittel nicht nur für körperliche Leiden zu finden wissen; dann wird sie ein belebendes Centrum sein für die Stärkung der geistigen Selbständigkeit, Ueberzeugungstreue und Wahrheitsliebe; ein Centrum auch zur Stärkung des Gefühls für den Zusammenhang mit dem grossen Vaterlande.

Anhang

Anhang zu dem Vortrag

„Ueber die Wechselwirkung der Naturkräfte“ (S. 48).

1) Robert Mayer's Priorität.

(Zugefügt 1883.)

In dem oben genannten Vortrage habe ich Robert Mayer als den Ersten genannt, der das Gesetz von der Erhaltung der Kraft in seiner Allgemeinheit richtig aufgefasst habe. So weit ich finden kann, ist dies der Zeit nach überhaupt die erste Hervorhebung seines Verdienstes gewesen, durch die ein grösserer Kreis des wissenschaftlichen Publikums auf dasselbe aufmerksam gemacht werden konnte. Auch bei Dühring „Robert Mayer, der Galilei des neunten Jahrhunderts“ 1880, finde ich keine frühere anerkennende Erwähnung citirt, die angeführte freilich auch nicht. Bei einer früheren Gelegenheit habe ich die Priorität Mayer's gegen die englischen Freunde von Joule zu vertheidigen gehabt, welche geneigt waren, jede Berechtigung Mayer's zu leugnen. Ein zu diesem Zweck an Prof. P. G. Tait von mir geschriebener Brief ist in der Einleitung zu dessen Buch: „Sketch of Thermodynamics“, Edinburgh 1868, sowie in der kürzlich erschienenen Sammlung meiner wissenschaftlichen Abhandlungen, Bd. I, S. 71 bis 73 abgedruckt.

In neuerer Zeit sind Vertreter der entgegengesetzten Richtung aufgestanden, welche, soweit ihren Angriffen wissenschaftliche Motive zu Grunde liegen, die fast schon erloschene Hoffnung, reelle Kenntnisse auf speculativem Wege gewinnen zu können, neu zu beleben glaubten, indem sie das Gesetz von der Erhaltung der Kraft als eine Erkenntniss a priori, und Robert Mayer als den Heros des reinen Denkens feiern. Die Darstellungsweise, welche er in den Einleitungen seiner ersten beiden Aufsätze gewählt hat, erleichtert allerdings eine solche Missdeutung seiner Leistungen.

Der alten, namentlich in metaphysischen Streitigkeiten seit Jahrtausenden bewährten Regel entsprechend, wonach die Er-

bitterung bei wissenschaftlichen Streitigkeiten um so grösser ist, je schlechter die Gründe sind, wurden diese Angriffe nicht in höflichen Formen ausgeführt. Diejenigen Naturforscher, welche sich gleichzeitig oder unmittelbar nach Mayer mit dem gleichen Gegenstande beschäftigt und dabei die inductiven Methoden aller Erfahrungswissenschaft befolgt hatten, wurden herabgesetzt, weil sie sich bemühten, Experimente anzustellen über Fragen, die durch das Schauen des Genius, den sie nicht verstanden, schon vorher entschieden worden waren. Ich selbst bin als einer der schlimmsten Uebelthäter dargestellt worden und verdanke dies, wie ich voraussetze, dem Umstande, dass ich durch meine Untersuchungen über Sinneswahrnehmungen mehr als andere meiner Fachgenossen mit erkenntnisstheoretischen Fragen in Berührung gekommen bin. Ich habe mich bestrebt, Alles was ich noch von Nebeln eines falschen scholastischen Rationalismus vorfand, zu zerstreuen. Dass ich mich dadurch bei den stillen und offenen Anhängern metaphysischer Speculation nicht beliebt gemacht habe, wusste ich längst vor diesen Streitigkeiten über Robert Mayer, und hatte auch längst schon eingesehen, dass es nicht anders sein könne.

Eine unbillig grosse Rolle spielte dabei mir gegenüber der Umstand, dass ich bei Abfassung meiner kleinen Schrift: „Ueber die Erhaltung der Kraft“ (Berlin 1847), Mayer's damals erschienene zwei Abhandlungen noch nicht kannte. Der Leser wird aus Folgendem vielleicht ersehen, warum Mayer's erste Schrift von 1842 nicht viel Wahrscheinlichkeit raschen Bekanntwerdens für sich hatte. Alle anderen Autoren über den Gegenstand, so weit sie mir bekannt waren, hatte ich genannt. Unter diesen war Joule, dem gegenüber ich niemals für die Idee des Wärmeäquivalents den geringsten Schein eines Prioritätsrechtes hätte in Anspruch nehmen können oder je in Anspruch genommen habe. In den Augen meiner Gegner half es mir nichts, dass ich später, nachdem ich Robert Mayer's Schriften kennen gelernt, und lange, ehe meine Gegner von ihm etwas wussten, über die Entdeckung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft niemals gesprochen habe, ohne ihn in erster Linie zu nennen, wie man aus den Vorträgen von 1862 und 1869 ersehen kann. Ich bin wahrscheinlich der Erste in Deutschland gewesen, der sich überhaupt bemüht hat, die Aufmerksamkeit des wissenschaftlichen Publikums auf ihn zu lenken.

Die Maasslosigkeiten der Angriffe meiner Gegner haben den gebildeteren Theil der Leser schnell orientirt, so dass ich mir

das wenig erfreuliche Geschäft, auf die nicht wissenschaftlichen Seiten des Streites zurückzukommen, ersparen kann.

Was von wissenschaftlichen Motiven in jenen Angriffen steckt, ist bisher noch nicht deutlich genug herausgehoben worden. Es ist der alte Gegensatz zwischen Speculation und Empirie, zwischen der Werthschätzung des deductiven und des inductiven Wissens, der hier zu einer sehr verschiedenen Werthschätzung der Leistungen Robert Mayer's geführt hat. Ich kann darüber nicht schweigen, da ich ihn selbst oft rühmend erwähnt habe, ohne eine Beschränkung hinzuzufügen. Letzteres geschah aus persönlicher Rücksicht, seines leidenden Zustandes wegen. Aber sein Name wird nun gebraucht, um wissenschaftliche Principien zu empfehlen, die ich für radical falsch halte, und die leider für die gebildeten Klassen Deutschlands ihre verführende Kraft noch immer nicht ganz verloren haben, daher muss ich diese Rücksicht bei Seite setzen.

Bei der Auffindung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft und seiner vollen Allgemeingültigkeit handelte es sich für Jemanden, der die mathematisch-mechanische Literatur des vorigen Jahrhunderts einigermaassen kannte, keineswegs um eine durchaus neue Induction, sondern nur um die letzte Präcisirung und vollständige Verallgemeinerung einer schon längst herangewachsenen inductiven Ueberzeugung, die sich schon mannigfach ausgesprochen hatte. Nachdem Leibnitz den Begriff der lebendigen Kraft, d. h. des Arbeitsäquivalents der Bewegung bewegter Massen, aufgestellt hatte, spielte das sogenannte Gesetz „von der Erhaltung der lebendigen Kraft“ eine wichtige Rolle in allen mechanischen Untersuchungen jener Zeit. Vorzugsweise war es Daniel Bernoulli, der um die Mitte des vorigen Jahrhunderts dieses Gesetz in den verschiedenartigsten Anwendungen durchzuführen bemüht war. Aber man wusste, dass dasselbe nur gültig sei für Bewegungskräfte, die von der Zeit und Geschwindigkeit unabhängig sind und dabei eine besondere Art räumlicher Vertheilung haben, Kräfte, die wir jetzt kurz zusammenfassend „conservativ“ nennen. Allerdings wagten die grossen Mathematiker des vorigen Jahrhunderts, die streng und vorsichtig in ihren Verallgemeinerungen vorgingen, ihre Vermuthung, dass alle elementaren Kräfte conservativ seien, noch nicht als wissenschaftlichen Satz auszusprechen. Abgesehen davon, dass Männer, die an ernste wissenschaftliche Arbeit gewöhnt sind, nicht alle ihre Vermuthungen und gelegentlichen Einfälle in die Welt hinauszuplaudern pflegen, um damit vor den Unverständigen zu

glänzen, so hatten sie noch die besondere Aufgabe vor sich, die Menschheit von dem falschen Rationalismus der Scholastik zur strengen Schätzung der Thatsachen zu erziehen, und mussten deshalb doppelt vorsichtig sein. Dass sie aber sehr fest an die Allgemeingültigkeit des Gesetzes von der Erhaltung der lebendigen Kraft geglaubt haben, dafür liegt eine ganz entscheidende Thatsache vor, nämlich der im Jahre 1775[1]) gefasste Beschluss der Académie des Sciences zu Paris, dass fortan von der Akademie kein angebliches Perpetuum mobile mehr in Berücksichtigung genommen werden solle, ebenso wenig, wie die angeblichen Lösungen der Quadratur des Cirkels und der Trisection des Winkels. In der Begründung dieses Beschlusses wird kurzweg und ganz bestimmt gesagt: „Le mouvement perpétuel est absolument impossible.“ Der wissenschaftliche Beweis der Unmöglichkeit der Lösung der genannten drei Probleme war zu jener Zeit noch nicht zu geben. Für die Quadratur des Cirkels ist er erst im letzten Jahre Herrn Lindemann gelungen. Wenn ein strenger Beweis der Unmöglichkeit der Lösung bekannt gewesen wäre, hätte sich die Akademie nicht durch einen solchen Beschluss gegen nutzlose Vergeudung ihrer Zeit zu wahren gebraucht. Aber in Entscheidungen für das praktische Handeln muss man oft Motiven folgen, die nur einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit für sich haben, und eine solche durch viele vorausgegangene vergebliche Versuche inductiv gewonnene Ueberzeugung spricht sich offenbar in jenem Beschlusse der Akademie aus, genügend fest für einen solchen, wenn sie auch noch nicht als wissenschaftliches Theorem erwiesen werden konnte.

Also die eine Seite des Problems, das „nil fieri ex nihilo“, wie es Robert Mayer bezeichnet, war für Arbeitswerthe hier schon als gemeinsame Ueberzeugung einer Versammlung der hervorragendsten Sachverständigen jener Zeit ausgesprochen. Die andere Seite, das „nil fieri ad nihilum“, die Unzerstörbarkeit der Arbeitswerthe wurde noch nicht direct ausgesprochen. Sie lag aber schon sehr nahe. Denn, soweit conservative Naturkräfte wirken und das Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kräfte gilt, ist Zerstörung von Arbeitsäquivalenten ebenso wenig möglich, als Neuerzeugung. Eben deshalb ist in dem Namen jenes Princips das Wort „conservatio“, „Erhaltung“ gebraucht.

Diese Seite des Problems konnte überhaupt erst aufgehellt

[1]) Histoire de l'Académie Royale des Sciences. Année 1775, p. 61 et 65.

werden, nachdem eine bessere Einsicht in die eigentliche Natur der Wärme gewonnen war. Der Gang der experimentellen Forschung war damals der Erkenntniss, dass die Wärme eine Form der Bewegung und nicht ein Stoff sei, eher ungünstig als günstig. Die Entdeckung des Sauerstoffs und die daran sich knüpfende neue Verbrennungstheorie führten zunächst zur umfassenden Durchführung der Calorimetrie. Die durch chemische Prozesse zu entwickelnde Wärme, die bei den Aenderungen der Aggregatzustände verschwindende und frei werdende Wärme, die Wärmecapacität der verschiedenen Substanzen, Alles dies wurde eifrig studirt; eine Menge mühsamer Untersuchungen begründeten hier ein neues wichtiges Gebiet der Physik. Bei allen diesen Vorgängen aber verhielt sich die Wärme gerade so, wie ein unzerstörbares Quantum einer Substanz, und sie liessen sich viel bequemer und einfacher durch die Annahme eines imponderablen Wärmestoffs erklären, als durch eine Bewegungshypothese, deren klare Durchführung und Auffassung ein gewisses Maass mathematisch-mechanischer Bildung verlangte. Aber diese war mit experimenteller Kenntniss der Thatsachen in älterer Zeit seltener vereinigt, als dies jetzt der Fall ist. Ja es gab Physiker, welche principiell verlangten, dass experimentelle und mathematisch-theoretische Arbeit ganz getrennt bleiben müssten. Auch die neu gefundene Arbeitserzeugung durch Wärme mittelst der Dampfmaschine schien sich anfangs noch unter die Vorstellung von Wärmestoff bringen zu lassen, da Sadi Carnot nachwies, dass Wärme nur arbeite, wenn sie aus dem dichteren Zustande, der höheren Temperaturen entspricht, in den verdünnteren Zustand niederer Temperatur übergehe und sie sich hierin durchaus einem durch Ausdehnung arbeitenden Gase ähnlich zu verhalten schien.

Wenn in einer Periode eine grosse Menge neuer Thatsachen aufgefunden wird, die sich alle willig und sogar quantitativ genau unter eine bestimmte Hypothese ordnen, und wenn diese Hypothese sich also als werthvolles heuristisches Princip für die Auffindung neuer Gesetzmässigkeit bewährt, so bekommt sie leicht ein zu grosses Gewicht in den Augen der Forscher. Diese gewöhnen sich daran, einzelne widersprechende Thatsachen als vorläufig unerklärte, aber vielleicht nur scheinbare Ausnahmen bei Seite zu schieben, in der Hoffnung, dass die Zukunft die besonderen Bedingungen kennen lehren werde, durch welche sie zu Stande kommen.

So war die Lage der Dinge etwa um das Jahr 1840. In der Wärmelehre waren längst solche Vorgänge gefunden, die mit der Annahme eines imponderablen Wärmestoffs schwer oder gar nicht zu vereinigen waren. Dies waren Rumford's und Humphrey Davy's Versuche über Reibungswärme. Die Versuche Rumford's suchte Berthollet allerdings in seinem Essai de Statique chimique (1803) mit der Hypothese des imponderablen Wärmestoffs zu vereinigen; Davy's Versuche waren dagegen vollkommen zwingend und wenn sich auch noch Niemand fand, der eine bestimmtere Vorstellung über die Art der Wärmebewegung auszubilden wusste, so wurde die Möglichkeit einer solchen Erklärungsweise doch nicht bloss in wissenschaftlichen Abhandlungen, sondern selbst in Lehrbüchern und Schulen besprochen. Ich selbst erinnere mich, dass ich in der Tertia des Potsdamer Gymnasiums einen Aufsatz darüber zu machen hatte. Sowie also Jemand mit einigem Verständniss für die mathematisch-mechanischen Begriffe an dieses Problem kam und ihm ernsthaft seine Aufmerksamkeit zuwendete, war nothwendig die erste Frage, ob das Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kraft, das die Behandlung der Bewegungsprobleme so wesentlich erleichterte, in diesem Fall als gültig angesehen werden könne. Wenn diese Frage bejaht und Wärme demnach als ein Quantum lebendiger Kraft angesehen werden durfte, dann eröffnete sich unmittelbar die Aussicht, dass die grösste Zahl der bisher angenommenen Ausnahmen von jenem Gesetze, welche die Reibung veranlasste, beseitigt wurden. Die durch Reibung entstandene Wärme konnte als das Aequivalent der scheinbar verloren gegangenen lebendigen Kraft in Anspruch genommen werden.

Offenbar hat die Unbestimmtheit der Vorstellung von der Wärmebewegung die theoretischen Physiker lange Zeit abgehalten, das Problem anzugreifen. Es mussten erst wichtige und bestimmt abgegrenzte Fragen auftauchen, wie die über den Ursprung der Triebkräfte und der Wärme in den lebenden Wesen, deren Beantwortung nur von der Entscheidung über die Erhaltung der Kraft bei der Wärmebewegung abhing, ohne dass die besondere Natur dieser Bewegung weiter in Frage kam.

Dass die Sache so lag, wie ich sie hier schildere, kann ich aus eigener persönlicher Erfahrung sehr bestimmt behaupten, da ich selbst diesen Weg gegangen bin, ohne von Mayer und anfangs auch ohne von Joule etwas zu wissen. In meinen Augen war die Arbeit, die ich damals unternahm, eine rein

kritische und ordnende, deren Hauptzweck nur sein konnte, eine alte, auf inductivem Wege gewachsene Ueberzeugung an dem neu gewonnenen Material zu prüfen und zu vervollständigen. Es war immerhin noch viel Arbeit im Einzelnen zu thun, das Material vollständig zu sammeln, zwischen verschiedenen möglichen Erklärungen die Entscheidung zu suchen u. s. w. Ich selbst aber habe die leitenden Gesichtspunkte, denen ich folgte, damals durchaus nicht für neu, sondern für sehr alt gehalten, und habe deshalb auch die Bezeichnung meines Aufsatzes: „Ueber die Erhaltung der Kraft", so gewählt, um ihn als eine Erweiterung des alten Princips „von der Erhaltung der lebendigen Kraft" zu charakterisiren, ebenso wie ich in der Einleitung an die alte Frage von der Möglichkeit des Perpetuum mobile angeknüpft habe.

Nun will ich nicht behaupten, namentlich nicht in Beziehung auf Robert Mayer, dem die Gelegenheit, den damaligen Inhalt der Wissenschaft kennen zu lernen, vielleicht knapper als mir zugemessen war, dass nicht eine anerkennenswerthe Sicherheit und Selbständigkeit des Denkens dazu gehörte, um einen Weg einzuschlagen und auf ihm richtig fortzugehen, dessen Tradition den damaligen experimentellen Physikern ziemlich fern lag. Was Mayer in dieser Beziehung geleistet hat, können nur Wenige leisten. Ich muss nur vor der ungerechtfertigten Uebertreibung warnen, als sei sein Gedanke eine neue Einsicht ohne vorausgehende Vorbereitung gewesen.

Robert Mayer's erste Abhandlung, die ihm die Priorität dessen sichert, was an der besprochenen neuen Einsicht neu war, fällt in das Jahr 1842. Er hatte bis dahin Medicin studirt, und nach einer Reise, die er als Schiffsarzt nach Java gemacht, sich in Heilbronn als praktischer Arzt niedergelassen. Der betreffende Aufsatz ist sehr kurz, giebt keine Beweise, wenigstens nichts, was ein Naturforscher als Beweis anerkennen würde, sondern stellt nur „Thesen" auf. Dem Zwecke, die Priorität zu sichern, genügt sie jedoch und, unter diesem Gesichtspunkt angesehen, ist Alles, was sonst an ihr auffällt, verständlich. Das wesentlich Neue, was sie bringt, ist die Behauptung, dass eine bestimmte Wärmemenge einem bestimmten Arbeitsbetrage äquivalent sein müsse. Zugleich ist eine Methode angegeben, diesen Betrag zu berechnen und die Rechnung ausgeführt. Dass deren Resultat (365 kgm) ziemlich weit von dem später festgestellten Werthe (425) abweicht, kann Mayer nicht zur Last gelegt

werden. Die der Rechnung zu Grunde liegende Annahme, die Abkühlung eines sich dehnenden Gases entspreche der äusseren Arbeit desselben, hätte, wie Mayer später zeigte, durch Berufung auf ein von Gay-Lussac ausgeführtes Experiment gestützt werden können. Er hat diesen Versuch nicht angeführt; zu einer blossen Prioritätssicherung war dies auch nicht nöthig. Autoren, die zu solchem Zwecke eine Notiz veröffentlichen, finden es zuweilen wünschenswerth, den Weg des Beweises noch nicht vollständig zu zeigen.

Wenn aber die Notiz als eine, vielleicht absichtlich unverständlich gehaltene Prioritätssicherung angesehen werden soll, so konnten Mayer's Bewunderer einen unmittelbaren grossen Erfolg derselben bei den Naturforschern nicht erwarten. Man bedenke nur die damalige Situation: Ein gänzlich unbekannter junger Arzt veröffentlicht eine kurze Notiz, worin er versichert, er glaube, dass jede Wärmeeinheit ein bestimmtes Arbeitsäquivalent habe und das müsse 365 m Hebung der Gewichtseinheit für einen Grad Celsius entsprechen. Was er an Erläuterungen hinzufügt, sind einige seit alter Zeit aus den Anwendungen des Princips von der lebendigen Kraft bekannte Thatsachen, auf den Fall der Körper bezüglich. In diesen[1]) ist das Arbeitsäquivalent der Bewegung sogar fehlerhaft berechnet, indem der Factor $^1/_2$ aus dem Werthe der lebendigen Kraft weggelassen ist. Eine andere unrichtige Versicherung[2]), dass nämlich Eis durch den unerhörtesten Druck nicht in Wasser verwandelt werden könne, würde dem Leser damals noch nicht als thatsächlich falsch aufgefallen sein, aber doch ein zweifelhaftes Licht auf die wissenschaftliche Vorsicht des Autors geworfen haben. Eingeleitet ist das Ganze durch Folgerungen aus dem Satze: „causa aequat effectum", die Ursache ist der Wirkung an Grösse gleich, aus welchem mittelst einer sehr bedenklichen Interpretation herausgelesen wird, dass, was als Ursache wirke, unzerstörbar sei. Diese Einleitung erscheint als das Einzige, was nach dem Sinne des Autors einen Beweis vertreten sollte. Es war eine Art des Beweises, die, an sich vollkommen ungenügend, in jener Zeit kräftiger Reaction gegen die speculativen Ueberschwenglichkeiten der Hegel'schen Philosophie, jeden aufgeklärten Naturforscher gleich

[1]) S. 6 in der Sammlung von R. Mayer's Abhandlungen: „Die Mechanik der Wärme." Stuttgart 1874.

[2]) R. Mayer, Die Mechanik der Wärme. S. 8.

von vornherein vom Weiterlesen abschrecken mochte, noch ehe er auf der zweiten Seite die Kräfte kurzweg mit den Imponderabilien identificirt fand und auf der vierten und sechsten Seite jenen schon angeführten Fehlern begegnete. Dass in dieser Abhandlung wirklich bedeutende Gedanken steckten, dass sie nicht in die breite Literatur von unklaren Einfällen gehörte, welche alljährlich von schlecht unterrichteten Dilettanten aufgetischt werden, konnte höchstens ein Leser merken, der schon ähnliche Gedanken in sich herumgewälzt hatte, und diese unter dem etwas fremdartigen Wortgebrauch des Autors wieder zu erkennen wusste. Liebig, der im Jahre, als Mayer's Abhandlung erschien, sein Buch über Thierchemie herausgab, in der er die Frage des chemischen Ursprungs der thierischen Wärme eingehend erörterte, war vielleicht ein solcher Leser, und nahm deshalb den Aufsatz in sein Journal der Chemie auf. Dort werden freilich Physiker und Mathematiker kaum Aufschlüsse über die Principien der Mechanik gesucht haben und dies ist noch ein Nebenumstand, der dem Bekanntwerden des Aufsatzes hinderlich sein mochte.

Das Liebäugeln mit der Metaphysik in Mayer's beiden ersten Veröffentlichungen erklärt sich wohl aus der damaligen Unzulänglichkeit seines empirischen Materials. Einem findigen und nachdenklichen Kopfe, wie er unzweifelhaft war, gelingt es gelegentlich auch aus dürftigem und lückenhaftem Material richtige Verallgemeinerungen zu bilden. Wenn er dann aber die Beweise dafür zu Papier zu bringen sucht und das Ungenügende derselben fühlt, so kommt er leicht dazu, sich mit unbestimmt allgemeinen Betrachtungen von zweifelhaftem Werthe helfen zu wollen. So beginnt, wie schon bemerkt, Robert Mayer seine erste Abhandlung mit Betrachtungen über den vieldeutig unbestimmten Satz: „Causa aequat effectum“ und schiebt diesem einen Sinn unter, wonach die Wirkung mit demselben Werthe ihrer Grösse wieder neue Ursache müsse werden können. Aus dem „aequat“, d. h. „ist gleich“, wird gemacht ein „bleibt gleich“. Abgesehen hiervon und von der weiteren Frage, ob der genannten letzteren Deutung nicht eine Verwechselung der Begriffe von „Ursache und Wirkung“ mit „Veranlassung und Folge“ zu Grunde liege, ist klar, dass die in der Natur sich vorfindenden Arbeitsäquivalente erst dann als causa und effectus, von denen jener Satz redet, aufgefasst werden dürfen, wenn ihre Unzerstörbarkeit bewiesen ist, d. h. dasjenige als Voraussetzung schon feststeht, was unser Autor aus jenem Satze herzuleiten sich bemüht. Ebenso

ist es mit den Sätzen, die er an die Spitze der zweiten Abhandlung des Jahres 1845 stellt: Ex nihilo nil fit. Nil fit at nihilum. (Aus nichts wird nichts. Nichts wird zu nichts.) Jetzt, wo man den grossen Zusammenhang der Arbeitsäquivalente des Weltalls kennt und in weitem Umfang empirisch nachgewiesen hat, kann man sagen, dass sie als Ens, welches nicht zu Nichts werden und nicht aus Nichts entstehen könne, gefasst werden dürfen. Dazu war doch aber kein Recht da, ehe ihre Beständigkeit erfahrungsmässig nachgewiesen war. So genügt Mayer's erste Arbeit allerdings dazu, um jetzt nachträglich zu erkennen, dass er schon im Jahre 1842 den Sinn und die Gültigkeit des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft im Wesentlichen richtig erfasst hatte, wenn auch die Art, wie er seine Erkenntniss darzustellen sich bemüht, noch von ziemlich starker Befangenheit in dem falschen Rationalismus der damaligen medicinischen Schulen und der damaligen Naturphilosophie zeugt.

Was Joule's gleichzeitige Arbeiten betrifft, so hatte dieser schon vor Mayer's erster Veröffentlichung, im Jahre 1841, Versuche ausgeführt, die ein mit der Frage über das mechanische Wärmeäquivalent nahe verwandtes Thema behandeln, nämlich die Beziehungen zwischen der Wärme und den elektrischen Kräften einer galvanischen Batterie. Er hatte durch diese nachgewiesen, soweit die Genauigkeit der damals angewendeten Methoden dies zuliess, dass die gesammte Wärmeentwickelung im Leitungskreise einer galvanischen Batterie unabhängig von der Zusammensetzung dieses Kreises und proportional sei dem Betrage der in dem Kreise eingetretenen chemischen Zersetzungen [1]). Noch in demselben Jahre 1841 [2]) berichtet er über eine weitere Reihe von Versuchen, aus denen hervorgeht, dass die elektrisch entwickelte Wärme der chemisch zu entwickelnden nicht nur proportional, sondern gleich sei, und dass diese Wärme in diesem Falle nicht an dem Orte, wo die chemischen Prozesse vor sich gehen, sondern in der ganzen Länge des Schliessungsbogens zum Vorschein komme. Nun erst erschien Robert Mayer's erster Aufsatz im Mai 1842. Joule hatte also um diese Zeit ein für die allgemeine Durchführung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft höchst wichtiges Thema selbständig behandelt und durch-

---

[1]) Philosoph. Magazine XIX, p. 260.

[2]) Ebenda XX, p. 98. Februar 1842. Gelesen vor der Liter. and Philosoph. Society of Manchester, 2. November 1841.

geführt. Unmittelbar folgerte er aus diesen Thatsachen allerdings noch nichts, was mit diesem Gesetz zusammenhängt, sondern er sprach nur die Vermuthung aus, dass auch bei den directen chemischen Verbrennungen die Wärmeentwickelung durch einen ähnlichen elektrischen Prozess bedingt sei. Diese Aehnlichkeit ist allerdings nach neueren Ansichten eine ziemlich fernliegende; Joule's Schluss ist nur dadurch für die Richtung seiner Gedanken bezeichnend, dass er sich nicht auf die Annahme eines am Orte des chemischen Prozesses frei gewordenen und von der Elektricität nur transportirten imponderablen Wärmestoffs einlässt. Im Gegentheil, indem er durchaus folgerichtig auf seinem Wege weiter geht, unternimmt er im nächsten Jahre, diese letztere Möglichkeit an den magnetelektrischen Strömen zu prüfen. In diesen besteht kein Prozess, der gebundene Wärme frei machen könnte. Wenn auch bei diesen Wärme nur transportirt würde, müsste sie da fehlen und Kälte entwickelt werden, wo die elektromotorischen Kräfte wirken, nämlich in den inducirenden Spiralen. Der Versuch widerlegt diese Voraussetzung. Er zeigt im Gegentheil, dass durch die inducirten magnetelektrischen Ströme bald neue Wärme unter Verbrauch von Arbeit erzeugt wird, bald, an Stelle der nicht entwickelten Wärme, mechanische Arbeitsleistung auftritt. Schliesslich wird das Verhältniss zwischen der verlorenen Arbeit und der gewonnenen Wärme bestimmt und im Mittel zu 838 englischen Fuss per Grad Fahrenheit (d. h. 460 m für 1° C.) gefunden. Diesen vom Juli 1843 datirten Mittheilungen [1]) ist noch eine vom August datirte angefügt, welche die erste Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents durch Reibung von Wasser liefert und auf 770 Fuss per 1° F. (422 m per 1° C.), also schon sehr nahe den besten später bestimmten Werthen, bestimmt.

Alles dies ist zwei Jahre vor Robert Mayer's zweitem Aufsatze veröffentlicht. Joule versicherte, Mayer's erste Notiz von 1842 um jene Zeit noch nicht gekannt zu haben. Nehmen wir, aller Wahrscheinlichkeit zum Trotz, an, er habe sie gekannt. Was konnte sie ihm geben, selbst wenn er sich die Mühe nahm, die richtige Interpretation ihres Sinnes zu suchen und durch eigenes Nachdenken zu ergänzen, was ihr Autor nicht erklärt hatte? Doch keinenfalls eine sichere Ueberzeugung von der

[1]) Philosophical Magazine XXIII, p. 265, 347, 435. Octbr. bis Decbr. 1843. Vorgetragen am 21. August 1843 vor der British Association.

Richtigkeit der vorgetragenen Ansicht; ein thatsächlicher Beweis, wie ihn Joule verlangt haben würde, war nicht gegeben. Allenfalls konnte ein wohlwollender Leser einsehen, dass dies eine beachtenswerthe Hypothese sei und konnte den Anstoss zu eigenen Ueberlegungen über das Thema empfangen. Wenn Joule um die Zeit, als Mayer's Notiz erschien, plötzlich angefangen hätte in einer neuen Richtung zu arbeiten, so hätte die Hypothese, er habe von dort seinen Anstoss empfangen, etwas Glaubhaftes. Aber er ging folgerichtig weiter in den Arbeiten, mit denen er vorher beschäftigt war. Der ganze Zusammenhang, wie er zu seinen Ergebnissen kam, liegt klar vor unseren Augen und zeigt, dass Joule keines äusseren Anstosses bedurfte, um sich der Frage über die Aequivalenz von Wärme und Arbeit zuzuwenden. Was er im Jahre 1843 gab, waren wirklich die ersten thatsächlichen Beweise für diese Aequivalenz.

Die von Mayer gegebene Berechnung dieser Grösse für einen Fall, selbst wenn sie als begründet anerkannt wurde, bewies nichts. Es musste gezeigt werden, dass ganz verschiedene Vorgänge genau denselben Werth ergeben, was Joule in der That gethan hat. Dadurch erst wurde Mayer's Ansicht über den Rang einer nicht unwahrscheinlichen Hypothese hinausgerückt. Ausserdem lieferte Joule hier zum ersten Male den Nachweis, dass mechanische Arbeitsleistung an Stelle von Wärme treten könne. Die Leistungen der Dampfmaschinen hatten Carnot und Clapeyron zunächst mit der Theorie vom Wärmestoff in geschickte Uebereinstimmung gebracht und Mayer hatte, was er an thatsächlicher Belegung für seine Ansicht von der Arbeit der Gase hatte, noch zurückgehalten.

Uebrigens hatte auch der durch viele pharmaceutisch-chemische Arbeiten bekannte K. Fr. Mohr schon im Jahre 1837, also vor Mayer's erstem Aufsatze, den Abriss einer mechanischen Theorie der Wärme [1]) veröffentlicht, der in vielen Beziehungen der später entwickelten mathematischen Theorie entspricht. Freilich misslingt es ihm, die richtige Beziehung zwischen Wärme und mechanischer Kraft aufzufinden. Aber er sucht doch nach einer solchen und der Aufsatz zeigt, dass um jene Zeit ähnliche Speculationen nicht ungewöhnlich waren; er zeigt aber auch, wie weit Mayer ihm überlegen war.

[1]) *Annalen* der Pharmacie, Bd. XXIV, S. 141.

Ich hoffe meinen Lesern dargethan zu haben, dass das längere Verborgenbleiben von Robert Mayer's erster Arbeit sich aus sehr begreiflichen und berechtigten Ursachen erklärt, dass Mayer ein höchst selbständiger und scharfsinniger Kopf war, von dem man grosse Leistungen erwarten durfte, wenn auch nicht ein solcher, der Dinge geleistet hätte, die andere seiner Zeitgenossen nicht hätten vollbringen können und thatsächlich auch ohne seine Unterstützung vollbracht haben. Ist ihm nun schweres Unrecht durch Vernachlässigung geschehen, wie dies seine Anhänger darstellen? Wenn man seinen ersten Aufsatz von 1842 als Prioritätssicherung auffasst, so hat er als solche seine Dienste gethan. Wenn dieser Aufsatz nicht existirte, so würde nichts beweisen, dass Mayer seine Ideen nicht von Joule empfangen habe. Für diesen Aufsatz mehr zu verlangen, nämlich, dass er auf seine Leser überzeugend wirken sollte, scheint mir ein Verkennen der richtigen Grundlagen wissenschaftlichen Beweises zu sein. Der zweite Aufsatz fiel in eine Zeit, wo theils kurz vorher, theils gleichzeitig, theils kurz nachher Joule und ich selbst dieselbe Sache in Angriff genommen hatten. Auch für uns war das Beharrungsvermögen der bestehenden Meinung nicht ganz leicht und nicht sehr schnell zu überwinden. Das höchste Interesse für den Träger einer neuen Idee sollte vor Allem sein, dass diese Idee die Ueberzeugung der Menschen für sich gewinne. Wenn für Robert Mayer diese Genugthuung bis in den Anfang des nächsten Jahrzehnts auf sich warten liess, so wird man dies einer so tief gehenden Aenderung der wissenschaftlichen Anschauungen gegenüber, wie sie hier verlangt wurde, kaum für eine lange Frist halten dürfen. Freilich wurde ihm die persönliche Befriedigung, sich als den ersten Apostel dieser Idee anerkannt zu sehen, noch etwas länger versagt. Aber mindestens seit 1854, d. h. neun Jahre nach seiner definitiven Publikation, begannen sein Name und sein Verdienst bekannt zu werden und es sind ihm die äusseren Zeichen der Verehrung und Anerkennung später vielfach zu Theil geworden. Natürlich hätte die Sache anders gelegen, wenn es ihm vergönnt gewesen wäre, an wissenschaftlicher Arbeit und an der thatsächlichen Beweisführung für die von ihm vertretenen Ideen rüstig weiter Theil zu nehmen. Er hat das bittere Schicksal eines früh invalide gewordenen Kämpfers gehabt; und leider ist die Menschheit für solche weder so rücksichtsvoll noch so dankbar als sie es sein müsste. Mayer's wenige spätere Schriften

zeigen, dass er sich den hellen Geist in Perioden von Wohlbefinden auch in späteren Zeiten noch voll bewahrt hatte; aber ausdauernder wissenschaftlicher Arbeit durfte er sich, wie es scheint, nicht mehr unterziehen.

Für die unvollendete Form, in der seine Arbeiten geblieben sind, erwächst ihm in keiner Weise ein persönlicher Vorwurf. In Mayer's Schicksal aber liegt für die heranreifenden Jünger der Wissenschaft die Lehre, dass die besten Gedanken in Gefahr kommen fruchtlos zu bleiben, wenn ihnen nicht die Arbeitskraft zur Seite steht, welche auszuharren vermag, bis der überzeugende Beweis für ihre Richtigkeit geführt ist.

2) Berechnungen.

(Zu Seite 46.)

Ich muss hier noch angeben, wie die Rechnung über die Erwärmung ausgeführt ist, welche durch die angenommene anfängliche Verdichtung der Himmelskörper unseres Systems aus nebelartigem, zerstreutem Stoffe entstehen musste. Die übrigen Rechnungen, deren Resultate ich angeführt habe, finden sich theils bei Robert Mayer und Joule, theils sind sie mit Hülfe der bekannten Thatsachen und Methoden der Wissenschaft leicht auszuführen.

Maass und Arbeit, welche bei der Verdichtung der Masse aus einem Zustande unendlich kleiner Dichtigkeit geleistet wurde, ist das Potential der verdichteten Massen auf sich selbst. Für eine Kugel von gleichmässiger Dichtigkeit, der Masse M, und dem Halbmesser R, hat das Potential auf sich selbst V, wenn wir die Masse der Erde m nennen, deren Radius r und die Intensität der Schwere auf der Erdoberfläche g, den Werth

$$V = \frac{3}{5} \cdot \frac{r^2 M^2}{R.m} \cdot g.$$

Betrachten wir die Himmelskörper unseres Systems als solche Kugeln, so ist die ganze Verdichtungsarbeit gleich der Summe aller ihrer Potentiale auf sich selbst. Da sich aber diese Potentiale für verschiedene Kugeln, wie die Grösse $\frac{M^2}{R}$ verhalten, verschwinden sie alle gegen das der Sonne; selbst das des grössten Planeten, des Jupiter, ist nur etwa der hunderttausendste Theil von dem der Sonne; wir brauchen also in der Rechnung auch nur dieses allein zu berücksichtigen.

Um die Temperatur einer Masse M von der specifischen Wärmecapacität σ um t Grade zu erhöhen, braucht man eine Wärmemenge gleich $M\sigma t$, diese entspricht, wenn Ag das mecha-

nische Aequivalent der Wärmeeinheit ist, der Arbeit $Ag\,M\sigma t$. Um die durch die Verdichtung der Sonnenmasse bewirkte Temperaturerhöhung zu finden, setzen wir

$$Ag\,M\sigma t = V,$$

also

$$t = \frac{3}{5} \cdot \frac{r^2 M}{A.R.m.\sigma}.$$

Für eine an Masse der Sonne gleiche Wassermasse ist $\sigma = 1$ zu setzen, dann ergiebt die Rechnung mit den bekannten Werthen von A, M, R, m und r, dass

$$t = 28\,611\,000^{\circ}\,\text{C.}$$

Die Masse der Sonne ist 738 Mal grösser, als die der Planeten zusammen genommen, wollen wir also die Wassermasse gleich der des ganzen Systems machen, so müssen wir den Werth von t mit $\frac{738}{739}$ multipliciren, was ihn kaum merklich ändert.

Wenn eine kugelförmige Masse vom Radius R_0 sich mehr und mehr zusammenzieht, bis zum Radius R_1, so ist die dadurch bedingte Temperatursteigerung

$$\vartheta = \frac{3}{5} \cdot \frac{r^2 M}{A.m\sigma} \left\{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_0}\right\}$$

oder

$$= \frac{3}{5} \cdot \frac{r^2 M}{A R_1 m \sigma} \left\{1 - \frac{R_1}{R_0}\right\}.$$

Denken wir uns also die Masse des Planetensystems anfangs nicht als eine Kugel von unendlich grossem Radius, sondern begrenzt, etwa vom Radius der Neptunsbahn, welcher 6000 Mal grösser ist, als der Sonnenhalbmesser, so wird die Grösse $\frac{R_1}{R_0}$ gleich $\frac{1}{6000}$.

Um diesen verhältnissmässig unbedeutenden Theil würde dann der obige Werth von t zu verringern sein.

Aus denselben Formeln ist abzuleiten, dass eine Verkleinerung des Sonnenhalbmessers um $\frac{1}{10000}$ noch eine Arbeit, äquivalent 2861 Wärmegraden in einer der Sonne gleichen Wassermasse, erzeugen würde. Und da sich nach Pouillet jährlich eine Wärmemenge, entsprechend $1^1/_4$ Grad in einer solchen Wassermasse verliert, so würde jene Verdichtung für 2289 Jahre den Verlust decken.

Wenn die Sonne, wie es wahrscheinlich erscheint, nicht überall von gleicher Dichtigkeit ist, sondern im Centrum dichter, so wird das Potential ihrer Masse und die entsprechende Wärmemenge noch grösser.

Von den noch jetzt vorhandenen mechanischen Kraftgrössen ist die lebendige Kraft der Rotationen der Himmelskörper um ihre eigene Axe, verhältnissmässig zu den übrigen Grössen, sehr klein und zu vernachlässigen; die lebendige Kraft der Umlaufbewegungen um die Sonne und die Arbeitsgrösse der Anziehung der Sonne ist, wenn μ die Masse eines Planeten, ϱ seine Entfernung von der Sonne bedeutet

$$L = \frac{gr^2 M\mu}{m} \left\{\frac{1}{R} - \frac{1}{2\varrho}\right\},$$

lässt man die Grösse $\frac{1}{2\varrho}$ weg, als verhältnissmässig sehr klein gegen $\frac{1}{R}$ und dividirt durch den obigen Werth von V, so erhält man

$$\frac{L}{V} = \frac{5}{3}\frac{\mu}{M}.$$

Die Masse aller Planeten zusammen ist $\frac{1}{738}$ der Sonnenmasse, folglich der Werth von L für das ganze System

$$L = \frac{1}{443} V.$$

Zusatz (1883). Bei Benutzung der neueren Werthe für die Massen des Planetensystems und für den Abstand der Sonne von der Erde ergiebt sich die oben S. 81 und S. 416 zu $1\frac{1}{4}{}^0$ C. angesetzte jährliche Temperaturabnahme zu 1,96° C. und die Gesammterhitzung t zu 26 845 000° C.

Zusätze zu dem Vortrag (S. 231)

„Eis und Gletscher“.

Die Theorie der Regelation des Eises hat zu wissenschaftlichen Discussionen zwischen Faraday und Tyndall auf der einen, James und William Thomson auf der anderen Seite Veranlassung gegeben. Ich habe im Texte der Vorlesung die Theorie der letzteren acceptirt, und muss mich deshalb hier rechtfertigen.

Die Versuche, welche Faraday angestellt hat, zeigen, dass ein äusserst geringer Druck genügt, sogar der Druck, den die Capillarität der zwischen den Eisstücken lagernden Wasserschicht hervorbringt, um dieselben aneinander frieren zu machen. Dass in den Versuchen von Faraday nicht absolut jeder Druck fehlte, der die Eisstücke aneinander heftete, hat James Thomson schon bemerkt. Aber ich habe mich durch eigene Versuche überzeugt, dass der Druck sehr gering sein kann. Nur ist zu bemerken, dass, je geringer der Druck ist, desto länger auch die Zeit wird, welche die beiden Eisstücke gebrauchen, um zusammenzufrieren, und dass dann auch die Verbindungsbrücken zwischen ihnen sehr schmal und sehr zerbrechlich sind. Beides erklärt sich aber leicht aus der von James Thomson gegebenen Theorie. Denn bei schwachem Drucke wird die Temperaturdifferenz zwischen Eis und Wasser sehr klein, und den mit den gepressten Theilen des Eises in Berührung stehenden Wasserschichten wird also ihre latente Wärme äusserst langsam entzogen, so dass sie nothwendig lange Zeit brauchen, um zu gefrieren. Wir werden ferner auch berücksichtigen müssen, dass wir die beiden sich berührenden Eisflächen der Regel nach nicht als absolut congruent betrachten dürfen; unter schwachem Drucke, der ihre Form nicht merklich verändern kann, werden sie sich also nur mit je drei fast punktförmigen Stellen berühren. Auf so schmale Berührungsflächen concentrirt, wird auch ein schwacher Gesammtdruck gegen die Eisstücke immerhin noch eine ziemlich grosse örtliche Pressung hervorbringen können, unter deren Einfluss etwas Eis schmilzt, und das gebildete Wasser gefriert. Aber die Verbindungsbrücke wird eben nur eine schmale werden können.

Bei stärkerem Druck, der die Form der gepressten Eisstücke mehr verändern und einander anpassen kann, und der auch ein stärkeres Abschmelzen der sich zuerst berührenden Vorsprünge zur Folge haben wird, werden wir grössere Temperaturdifferenzen zwischen Eis und Wasser, daher schnellere Bildung und grössere Breite der Verbindungsbrücken erhalten.

Da nun der Druck einer Atmosphäre auf ein Quadratmillimeter etwa 10 Gramm beträgt, so wird ein Eisstückchen von 10 Gramm Gewicht, welches auf einem anderen liegt, und dieses mit drei Spitzchen berührt, deren Berührungsflächen zusammengenommen ein Quadratmillimeter betragen, an diesen Spitzen schon einen Druck von einer Atmosphäre hervorbringen, und Eisbildung in dem benachbarten Wasser sogar sehr viel schneller bewirken können, als es in dem Kolben geschah, wo sich die Glaswand zwischen Eis und Wasser einschob. Ja selbst bei viel kleinerem Gewichte des Eisstückchens wird dasselbe im Verlauf einer Stunde noch geschehen können. In dem Maasse freilich, als durch das neugebildete Eis die Verbindungsstellen breiter werden, wird sich der Druck, den das obere Eisstückchen ausübt, auf grössere Flächen vertheilen müssen und schwächer werden, so dass die Verbindungsbrücken bei so schwachem Druck nur wenig und langsam zunehmen können, und daher auch leicht wieder zerbrechen werden, wenn man die Eisstücke zu trennen sucht.

Dass übrigens bei Faraday's Versuchen, wo zwei durchlöcherte Eisscheiben auf einem horizontalen Glasstabe ohne einen durch die Schwere bewirkten Druck neben einander hingen, die Capillarattraction hinreichend ist, um einen Druck der Platten gegen einander von einigen Grammen hervorzubringen, ist wohl nicht zweifelhaft, und die vorausgeschickten Erörterungen zeigen, dass ein solcher Druck hinreichen konnte, im Laufe einer genügenden Zeit Verbindungsbrücken zwischen den Platten herzustellen.

Auch wenn zwei Eisstücke auf Wasser schwimmen, und durch Capillarkraft zu einander hingezogen werden, verbinden sie sich durch eine Eisbrücke, selbst wenn das Wasser warm genug ist, um sie merklich abzuschmelzen. In dem engen Spalt ihrer Berührungsstelle und an dessen Grenzen wird dabei freilich die Temperatur nicht von Null verschieden sein. Ebenso sah Tyndall Regelation eintreten, wenn er ein kleines schwimmendes Eisstückchen mittelst eines anderen spitzen Stückchens im Wasser etwas niederdrückte. In allen solchen Fällen habe ich selbst die Verbindungsbrücken aber immer ausserordentlich zart gefunden.

Wenn man dagegen zwei von den oben beschriebenen Eiscylindern mit den Händen kräftig aneinander presst, so haften sie nach einigen Augenblicken so fest zusammen, dass man sie nur mit beträchtlicher Anstrengung wieder auseinander brechen kann, ja, dass zuweilen die Kraft der Hände dazu nicht ausreicht.

Ich fand überhaupt bei meinen Versuchen die Stärke und Schnelligkeit der Verbindung der Eisstücke so durchaus dem angewendeten Drucke entsprechend, dass ich nicht zweifeln kann, dass der Druck wirklich die zureichende Ursache ihrer Vereinigung sei.

Faraday hat die Regelation auf eine Contactwirkung des Eises zurückzuführen gesucht. Er nimmt an, dass Wasser, was allseitig mit Eis in Berührung ist, leichter gefriere, gleichsam einen höheren Gefrierpunkt habe, als solches, welches gar nicht oder nur einseitig mit Eis in Berührung ist. Er vergleicht die Erscheinungen am Eise mit der Ablagerung krystallisirter Massen aus Lösungen oder Dämpfen, welche immer eher an schon vorhandenen Krystallen gleicher Art, als an Glaswänden geschieht. Diese Erfahrungen zeigen in der That, dass schon gebildete Krystalle eine gewisse

Anziehungskraft auf Massen gleicher Art ausüben, die zur Ausscheidung bereit sind, und dieselben bestimmen, sich der vorhandenen Structur des Krystalles homogen anzufügen.

Für das erste Zusammenhaften zweier Eisstücke bei schwachem Druck könnte in der That eine solche Erklärung zulässig erscheinen. Jedenfalls ist aber Druck, namentlich so grosser Druck wie er in den inneren Theilen der Gletscher stattfindet, ein viel gewaltigeres Mittel zur Hervorrufung derselben Wirkungen.

Was die sogenannte Plasticität des Eises betrifft, so hat James Thomson davon eine Erklärung gegeben, bei welcher die Bildung von Sprüngen im Inneren des Eises nicht vorausgesetzt ist. Auch ist es in der That unzweifelhaft, dass, wenn eine Eismasse in verschiedenen Theilen ihres Inneren verschieden starke Pressungen erleidet, ein Theil des stärker gepressten Eises abschmelzen muss, wozu ihm das weniger gepresste Eis und das mit diesem in Berührung stehende Wasser die latente Wärme liefern müsste. So würde also an den gepressten Stellen Eis wegthauen, an den nicht gepressten Wasser gefrieren, und das Eis würde auf diese Weise sich in der That allmählich umformen und dem Drucke nachgeben können. Indessen ist klar, dass bei der sehr schlechten Wärmeleitungsfähigkeit des Eises ein solcher Prozess ausserordentlich langsam vor sich gehen muss, wenn die gepressten und kälteren Eisschichten, wie es in den Gletschern der Fall ist, durch weite Strecken von den weniger gepressten und von dem Wasser entfernt sind, welches ihnen Wärme zum Schmelzen abgeben soll.

Um diese Theorie zu prüfen, legte ich in einem cylindrischen Glasgefässe zwischen zwei Eisscheiben von 3 Zoll Durchmesser ein kleineres cylinderförmiges Stück von etwa 1 Zoll Durchmesser, und belastete die oberste Eisscheibe mit einer Holzscheibe und diese mit einem Gewichte von 20 Pfund. Dadurch war der Querschnitt des schmalen Stückes einem Drucke von mehr als einer Atmosphäre ausgesetzt. Das ganze Gefäss wurde zwischen Eisstücke gepackt, und fünf Tage lang in ein Zimmer gestellt, dessen Temperatur wenige Grade über dem Gefrierpunkte lag. Unter diesen Umständen musste das Eis in dem Glase, welches dem Drucke des Gewichtes ausgesetzt war, schmelzen, und man konnte erwarten, dass der schmale Cylinder, auf den der Druck am stärksten wirkte, hätte am meisten schmelzen sollen. Es bildete sich auch etwas Wasser in dem Gefässe, aber hauptsächlich auf Kosten der grösseren Eisscheiben, die oben und unten lagen und zunächst von der äusseren Mischung von Eis und Wasser durch die Wände des Gefässes hindurch Wärme aufnehmen konnten. Auch bildete sich ein kleiner Wall von neuem Eise rings um die Berührungsstelle des schmaleren mit dem unteren breiteren Eisstück, welcher erkennen liess, dass das Wasser, welches sich unter dem Einfluss des Druckes gebildet hatte, da, wo der Druck aufhörte, wieder gefroren war. Doch war unter diesen Umständen noch keine merkliche Formveränderung des mittleren, am meisten gepressten Stückes eingetreten[1]).

Dieser Versuch zeigt, dass, wenn auch in langer Zeit Formveränderungen der Eisstücke im Sinne von James Thomson's Erklärung eintreten

---

[1]) Neuerdings sind Versuche dieser Art Herrn Dr. Fr. Pfaff gelungen (Poggendorff's Annalen der Physik. Bd. CVL, S. 169).

müssen, wodurch die stärker gepressten Theile fortschmelzen, und neues Eis an den von Druck freien Stellen sich bildet, diese Veränderungen doch ausserordentlich langsam von Statten gehen müssen, wo die Dicke der Eisstücke, durch welche die Wärme geleitet wird, einigermaassen erheblich ist. Eine beträchtliche Formveränderung durch Abschmelzen inmitten einer Umgebung, deren Temperatur überall 0^0 ist, würde eben ohne Zuleitung von Wärme von aussen oder von dem nicht gepressten Eise und Wasser her nicht geschehen können, und diese wird bei den geringen Temperaturunterschieden, die hier in Betracht kommen, und bei der schlechten Wärmeleitungsfähigkeit des Eises äusserst langsam geschehen.

Dass dagegen, namentlich in körnigem Eise, die Bildung von Sprüngen und Verschiebung der Grenzflächen der Sprünge gegen einander eine Formänderung möglich macht, zeigen die oben beschriebenen Versuche über Pressung, und dass im Gletschereise in solcher Weise Formänderungen vor sich gehen, ergiebt sich deutlich aus der gebänderten Structur, aus der körnigen Aggregation, die beim Abschmelzen zu Tage kommt, der Art, wie die Schichten ihre Lage bei der Bewegung verändern und so weiter. Ich zweifele deshalb nicht, dass Tyndall den wesentlichen und hauptsächlichen Grund der Bewegung der Gletscher bezeichnet hat, indem er sie auf Bildung von Sprüngen und Regelation zurückführte.

Daneben möchte ich noch daran erinnern, dass eine nicht unbeträchtliche Quantität von Reibungswärme in den grösseren Gletschern erzeugt werden muss. Die Rechnung ergiebt in der That, dass, wenn eine Firnmasse vom Col du Géant bis zur Quelle des Aveyron herabrückt, ihr vierzehnter Theil geschmolzen werden kann durch die von der mechanischen Arbeit erzeugte Wärme. Da nun die Reibung an den am meisten gepressten Stellen der Eismasse am grössten sein muss, wird sie allerdings auch dazu dienen, gerade diejenigen Theile des Eises fortzunehmen, die dem Fortrücken am meisten hinderlich sind.

Schliesslich will ich noch erwähnen, dass die oben beschriebene körnige Structur des Eises sich sehr hübsch im polarisirten Lichte zeigt. Wenn man in der eisernen Form ein kleines klares Eisstück zu einer Scheibe von etwa fünf Millimeter Dicke auspresst, so ist diese durchsichtig genug, um untersucht zu werden. Man sieht dann im Polarisationsapparate in ihrem Inneren eine grosse Menge verschiedenfarbiger kleiner Felder und Ringe, und erkennt durch die Anordnung der Farben leicht die Grenzen der Eiskörnchen, welche, mit mannigfach verworfener Richtung ihrer optischen Axe aneinander gelagert, die Platte zusammensetzen. Der Anblick ist im Wesentlichen derselbe, sowohl im Anfang, wenn man die Platte eben aus der Presse genommen hat und die Sprünge in ihr noch als weissliche Linien erscheinen, wie später, wenn durch beginnende Schmelzung die Spalten sich mit Wasser gefüllt haben.

Um während der Umformung des Eisstücks den Fortbestand seines Zusammmenhangs zu erklären, ist zu beachten, dass der Regel nach die Spalten in dem körnigen Eise nur Einrisse in das Stück bilden und nicht vollständig durchgehen. Das sieht man direct beim Pressen des Eises. Die Spalten bilden sich, schiessen nach verschiedenen Seiten hin, wie Sprünge, die durch einen heissen Draht in einer Glasröhre erzeugt sind. Eine gewisse Elasticität kommt dem Eise zu, wie man an dünnen biegsamen Platten des-

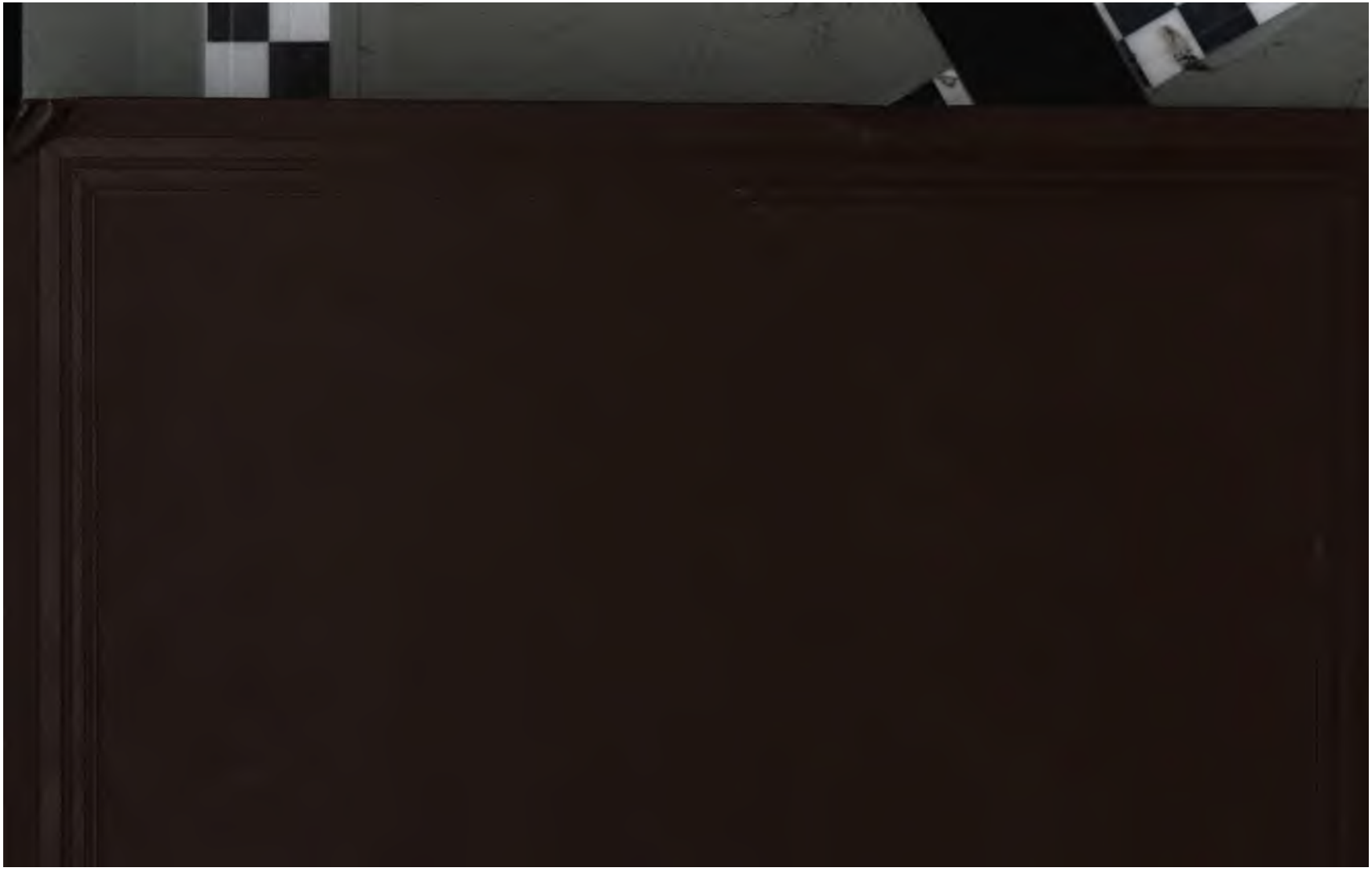
selben sehen kann. Ein solcher eingerissener Eisblock wird also eine Verschiebung der den Spalt begrenzenden beiden Seiten erleiden können, selbst wenn diese noch durch den ungespaltenen Theil des Blocks continuirlich zusammenhängen. Wenn dann der erst gebildete Theil des Spalts durch Regelation geschlossen wird, kann schliesslich der Spalt nach der anderen Seite hin ganz durchreissen, ohne dass zu irgend einer Zeit der Zusammenhang des Blocks vollständig aufgehoben wäre. So erscheint es mir auch zweifelhaft, ob bei dem scheinbar aus verschränkten polyëdrischen Körnern bestehendem gepressten Eise und Gletschereise die Körner, schon ehe man sie zu trennen sucht, vollständig von einander gelöst, und nicht vielmehr durch Eisbrücken, welche leicht zerbrechen, mit einander verbunden sind, und ob nicht letztere den verhältnissmässig festen Zusammenhang des scheinbaren Haufwerks von Körnchen vermitteln.

Diese hier beschriebenen Eigenschaften des Eises sind auch in physikalischer Beziehung von Interesse, weil sich hier der Uebergang eines krystallinischen Körpers in einen körnigen so genau verfolgen, und die Ursachen, von denen die damit verbundene Veränderung seiner Eigenschaften abhängt, wie es scheint, besser erkennen lassen, als bei irgend einem anderen bekannten Beispiel. Die meisten Naturkörper zeigen kein regelmässiges krystallinisches Gefüge; unsere theoretischen Vorstellungen passen aber fast allein auf krystallinische und vollkommen elastische Körper. Gerade in dieser Beziehung scheint mir der Uebergang des brüchigen und elastischen krystallinischen Eises in das plastische körnige Eis ein sehr belehrendes Beispiel zu sein.

QH
171
H47
1896
LANE
HIST

LANE MEDICAL LIBRARY

This book should be returned on or before
the date last stamped below.

NOV 20 1953

114989